Terrestrisch-photogrammetrische und Satelliten-Aufnahmen als Grundlage für tektonische Untersuchungen - dargestellt am Beispiel des nördlichen Apennins

Anselm Smolka

1977

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555616_0030

Terrestrisch-photogrammetrische und Satelliten-Aufnahmen als Grundlage für tektonische Untersuchungen - dargestellt am Beispiel des nördlichen Apennins

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
Anselm Smolka
aus Weßling/Obb.
1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1.Berichterstatter: Prof.Dr. J.Bodechtel
2.Berichterstatter: Prof.Dr. Kl.Schmidt
Tag der mündlichen Prüfung: 28.Juni 1977

Vorwort
I. Einleitung 1
I. 1. Thematischer Rahmen 1
I. 2. Problemstellung 2
2.1. Allgemeine Problemstellung 2
2.2. Großtektonische Datenerhebung 2
2.2.1. Das Satellitenbild als Grundlage der großtektonischen Datenerhebung 2
2.2.2. Theoretische Grundlagen 3
2.2.3. Ältere Arbeiten 5
2.3. Kleintektonische Aufnahme 7
2.3.1. Die terrestrische Photogrammetrie als Hilfsmittel der Datenerhebung 7
2.3.2. Theoretische Grundlagen 7
2.3.3. Ältere Arbeiten 9
2.4. Lage der Geländeprofile 10
2.5. Spezielle Problemstellung 13
I. 3. Geologische Einführung 14

II. Arbeitsmethodik 18
II. 1. Geländeaufnahme 18
II. 2. Satellitenbildauswertung 21
II. 3. Verarbeitung der Daten 25
II. 4. Dateninterpretation 26
4.1. Kluftdiagramme 26
4.2. Satellitenbildlineamente 34
4.3. Integration von Satellitenbild- und Geländeinformation 34

III. Ergebnisse 36
III. 1. Die Auswertung der Kluftdiagramme 36
1.1. Trennflächenanalyse 37
1.1.1. Materialbedingte Unterschiede der Klüftung 38
1.1.2. Durch strukturelle Position bedingte Unterschiede der Klüftung 39
1.1.3. Durch großtektonische Stellung und Formungsintensität bedingte Unterschiede 42

3.1. Südliches Profil 42
3.2. Nördliches Profil 44
3.3. Vergleich der Kluftausbildung im nördlichen und südlichen Arbeitsgebiet 47
1.1.4. Zur genetischen Interpretation von Kluftgefügen 50
1.2. Die Anordnung der b-Achsen 54
2.1. Richtungsdifferenzen zwischen b_1- und b_2-Achse 54
2.2. Die Entstehung der Achsendifferenzen 61
2.3. Abweichungen der b_2-Achse vom generellen Faltenstreichen 63
III.2. Die Auswertung der Satellitenbildlineamente 65
2.1. Interpretation von Störungen im Satellitenbild 65
2.2. Die Hauptrichtungen 70
2.3. Die statistische Analyse der Lineament 71
2.4. Die Prato-Sillaro-Linie im Satellitenbild 73
III.3. Die Integration von Satellitenbild- und Geländeinformation 76
3.1. Die Beziehung zwischen Satellitenbildlineationen und Kluftgefüge 77
3.2. Der Vergleich von Satellitenbildlineationen mit bekannten Störungen 77
3.3. Lineamentmuster und Kluftsysteme 8o

III.4. Tektonische Zusammenhänge im nördlichen Apennin 84
III.5. Schlußfolgerungen 89

Zusammenfassung
Verzeichnis der Abbildungen
Literaturverzeichnis

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprogrammes "Geodynamik des mediterranen Raumes" der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Für die finanzielle Unterstützung durch die DFG möchte ich mich aufrichtig bedanken.
Die Auswertung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen und der Satellitenbilder erfolgte an der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung der DFG (Leiter: Prof. Dr. J.Bodechtel).
Herr Prof.Dr. J.Bodechtel war es auch,der mir die Möglichkeit zu vorliegender Arbeit verschaffte und ihre Betreuung übernahm.
Herr Prof.Dr. Kl.Schmidt stellte einen Arbeitsplatz am Institut für allgemeine und angewandte Geologie der Universität München zur Verfügung.
Zahlreiche Diskussionen führte ich mit meinen Kollegen an der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung.
Die Herren Dott. A.Giovacchini und Dott. L.Zan (Geotecneco S.p.A.,S.Lorenzo in Campo) gaben mir einige wertvolle Hinweise.
Herr Dipl.Geol. G.di Bernardo besorgte freundlicherweise einen Großteil der Reinzeichnungen.
Herr Dipl.Phys. M.Seiderer erweiterte das Programm LUBILI für die rasterförmige Erfassung der Richtungsverteilung von Lineamenten.
Ich möchte allen genannten Herren für ihr Interesse und ihre Unterstützung sehr herzlich danken.

I. Einleitung

I. 1. Thematischer Rahmen

Der Nordapennin war während der vergangenen 20 Jahre Gegenstand intensiver geologischer Erforschung. Beteiligt waren daran vor allem italienische und deutsche Institutionen, in Italien der Consiglio Nazionale delle Ricerche mit den beiden Zentren für Erforschung des Nordapennins an den geologischen Universitätsinstituten von Pisa und Florenz, in Deutschland die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die im Rahmen des Schwerpunktprogrammes "Geodynamik des mediterranen Raumes" eine Geotraverse durch den Nordapennin bearbeiten ließ. Zentrum der Forschungstätigkeit war dabei das Geologische Institut der FU Berlin.

Im Zuge dieser Arbeiten wurden weite Teile des Nordapennins neu geologisch kartiert. Die neuen Geländeaufnahmen bilden, verbunden mit intensiven faziell-sedimentologischen Untersuchungen, die Grundlage der drei großen Synthesen zur Gebirgsbildung des Nordapennin von BALDACCI et al. (1966), REUTTER (1968) und SESTINI (ed. 1970).

Seither richteten sich die Bemühungen bevorzugt auf die - möglichst durch geophysikalische Daten untermauerte - Einbindung der über Entwicklung und Aufbau des Nordapennins gewonnenen Vorstellungen in das Ideengebäude der Plattentektonik.

Bei dem beträchtlichen Aufschwung, den die Apenninforschung in den letzten Jahrzehnten genommen hat, überrascht die deutliche Vernachlässigung der tektonischen Erkundung des Gebirges, insbesondere der Erfassung der Bruchstrukturen. Während der allgemeine, großräumige Aufbau des Apennins - Verteilung und Ausdehnung der tektonischen Einheiten und ihre gegenseitige Stellung sowie der Verlauf der Großfaltenstrukturen - mittlerweile weitgehend abgeklärt sind, ist das Störungsmuster nur unvollständig erfaßt und die Ausbildung des Kluftgefüges nahezu gänzlich unbekannt. Diese Beobachtungslücke gab den Anstoß zu vorliegender Arbeit.

I. 2. Problemstellung der Arbeit

2. 1. Allgemeine Problemstellung

Die allgemeine Problemstellung der Arbeit läßt sich wie folgt formulieren:
Die von anderer Seite durchgeführten intensiven sedimentologisch-faziellen Untersuchungen sollten in tektonischer Hinsicht ergänzt werden. Dabei war methodisch zu prüfen, inwieweit sich die Interpretation von Satellitenbildern, unterstützt durch gezielte tektonische Geländemessungen, zur Bearbeitung der Thematik eignet.
Die Satellitenbildauswertung sollte eine extensive Übersicht über die tektonischen Großelemente, vor allem die Bruchstrukturen des nördlichen Apennins schaffen, die notwendigerweise regional begrenzte, aber intensive kleintektonische Datenerhebung sollte Aussagen über die tektonische Beanspruchung im Kleinbereich und Rückschlüsse auf den Richtungsansatz der tektonischen Kräfte ermöglichen.
In einem weiteren Arbeitsschritt waren Satellitenbildauswertung und Geländearbeit in Beziehung zu setzen und zu einer gemeinsamen Aussage zusammenzufassen.
Die allgemeine Problemstellung erfährt durch verschiedene Faktoren Einschränkungen. So erforderte der geringe zur Verfügung stehende Zeitraum von zwei Jahren den Einsatz neuer, zeitsparender Techniken der Datenaufnahme. Den gegebenen Voraussetzungen für die Datenerhebung (Arbeitsmaterial, Auswertegeräte) war Rechnung zu tragen, theoretische Grundlagen zur Interpretation des Datenmaterials und die Erfahrungen der wenigen älteren Arbeiten, die den Themenkreis berühren, waren zu berücksichtigen.
Diese Punkte sollen in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

2. 2. Großtektonische Datenerhebung

2. 2. 1. Das Satellitenbild als Grundlage der großtektonischen Datenerhebung

Für großräumige tektonische Untersuchungen stehen seit kurzem Weltraumbilder der amerikanischen Satelliten LANDSAT 1 (vormals ERTS), LANDSAT 2 und SKYLAB zur Verfügung. Sie bieten

durch die große Aufnahmeentfernung von 910 km (LANDSAT) bzw. 435 km (SKYLAB) die synoptische Übersicht, welche für die schnelle und effektive Ausführung einer kleinmaßstäbigen tektonischen Bestandsaufnahme unerläßlich ist. Dabei haben SKYLAB-Bilder gegenüber LANDSAT-Daten einige Vorteile aufzuweisen:

- SKYLAB-Bilder sind echte Photographien, keine zeilenweisen Bildabspielungen der Strahlungsintensität des überflogenen Areals (im Aussehen einem TV-Bild entsprechend) wie die LANDSAT-Bilder. Das bedeutet zumindest beim gegenwärtigen Stand der Technik ein höheres Auflösungsvermögen (max. 10m gg. 60m). Außerdem sind auch solche Strukturen zu erkennen, die parallel zum Zeilenraster der LANDSAT-Szenen liegen und deshalb dort nicht erkennbar sind.
- Das Fehlen von störenden Bildzeilen und das hohe Auflösungsvermögen erlauben eine erhebliche Vergrößerung des ursprünglichen Aufnahmemaßstabs von 1 : 2,850 000 bis zu einem Maßstab von 1 : 100 000 ohne den geringsten Verlust an Schärfe.
- SKYLAB-Bilder liegen in stereoskopischer Überdeckung vor.

In Verbindung mit dem hohen Auflösungsvermögen ist damit bei der Auswertung ein ausgezeichneter topographischer und morphologischer Bezug zum bearbeiteten Gelände gewährleistet. Auf die Zwischenstufe vergleichender Luftbildbearbeitungen größeren Maßstabs konnte deshalb verzichtet werden, zumal von weiten Teilen des Nordapennin derartige Auswertungen bereits vorliegen.

Ein Nachteil der hohen Auflösung liegt in der Tatsache, daß infolge der Erkennbarkeit auch kleiner Details in jungen Beckenfüllungen mit schwacher Reliefintensität kaum Lineamente erkannt werden können. Denn dort werden die großräumigen Zusammenhänge durch das Kleinmuster der landwirtschaftlichen Nutzung überdeckt.

2. 2. 2. Theoretische Grundlagen

Die Grundlagen für die geologische Interpretation von Satellitenbildern wurden durch die in den USA seit den 50er Jahren übliche, in Europa während der [illegible] Jahre eingeführte geologische Luftbildauswertung geschaffen. Im Vordergrund steht dabei die Kartierung von "Photolineationen"

im Sinne von LATTMAN (1958), welche im allgemeinen als Spurlinien tektonischer Flächen an der Erdoberfläche zu deuten sind. In geologisch noch unerschlossenen Gebieten ist auch die Unterscheidung von lithologischen Einheiten aus dem Luftbild von Bedeutung, während sie in bereits intensiv erforschten Gebieten wie dem Nordapennin keine Zusatzinformation bringt. Dementsprechend beschränkte sich die Satellitenbildauswertung im Rahmen vorliegender Arbeit auf die Erfassung der Lineationen und der Großfaltenstrukturen. BODECHTEL & SCHERREIKS(1968) erbrachten den Nachweis für die statistische Übereinstimmung von Bruchflächenrichtungen, die aus Lineamentkartierung im Luftbild einerseits und Geländemessungen andererseits ermittelt wurden. Damit war spätestens die Gültigkeit dieser Arbeitsmethode auch von der theoretischen Seite her belegt. BODECHTEL & NITHACK (1974) konnten wiederum eine eindeutig positive Korrelation der Richtungsverteilung von Luftbild- und Satellitenbildlineationen am Beispiel der südlichen Toskana aufzeigen.

Während also die statistische Übereinstimmung der Richtungen von Photolineationen und im Gelände gemessenen Bruchstrukturen einwandfrei erwiesen ist, bestehen über die tektonische Bedeutung des Einzellineamentes noch weitgehend unterschiedliche Auffassungen, weniger bei Luftbildlineamenten, deren Störungscharakter vielfach durch eine erkennbare Versatzrichtung verdeutlicht wird, als bei Satellitenbildlineationen. Denn in Satellitenbildern können infolge des kleinen Aufnahmemaßstabs eventuelle Versatzrichtungen nur in sehr seltenen Fällen auskartiert werden (s. Kap. III.2.1). ADLER und KRONBERG (1975) konnten zwar den Störungscharakter von Satellitenbildlineationen im Kleingefüge der entsprechenden Lineamentzone im Gelände nachweisen. Eine sichere und vor allem genügend genaue Lokalisation von Lineationen auf den von diesen Autoren verwendeten LANDSAT-Bildern erscheint jedoch problematisch, zumal bei der geringen Reliefintensität des bearbeiteten Gebiets. Bei der Verwendung von SKYLAB-Bildern tritt das Lageproblem wegen der hohen Bildauflösung nicht mehr auf. Im Verlaufe vorliegender Arbeit wird auf das Problem der geologischen Ausprägung von Lineationen noch eingegangen werden.

2. 2. 3. Ältere Arbeiten

Mitte der 60er Jahre führten einige italienische Wissenschaftler großräumig angelegte photogeologische Untersuchungen (Lineamente und Schichtspuren) aus, die weite Teile des Apennins nördlich des Arno umfassen (BARBIER 1964, BARBIER & FACIBENI 1967, FAZZINI & GELMINI 1966, GELMINI 1965). In diesen Arbeiten kommt zum erstenmal klar zum Ausdruck, daß im Gebirgsbau nicht nur apenninische (d.h. faltungsbezogene) Bruchstrukturen vorhanden sind, sondern auch - teilweise sogar vorherrschend - nicht-apenninische Richtungen. Zu erwähnen ist der Versuch BARBIER's, Luftbildbefund und geophysikalische Daten zu korrelieren, eine Anregung, die in jüngster Zeit verstärkt aufgenommen wird, gerade bei Satellitenbildbearbeitungen (BRACONNE et al. 1976).

Die Beispiele einer geologisch-tektonischen Auswertung von Satellitenbildern sind zahlreich. Nahezu alle diese Auswertungen entbehren aber einer Fundierung und Verifizierung ihrer Ergebnisse durch regional angemessen ausgedehnte Geländeuntersuchungen. So stellen EGGENBERGER et al. (1976) 366 Kluftmessungen aus drei Gebieten von insgesamt knapp 2000 km^2 Ausdehnung den Lineamenten eines ganzen LANDSAT-Bildes von 185 km Kantenlänge gegenüber. Außerdem ist die von den amerikanischen Autoren bevorzugte direkte Gegenüberstellung von Kluft- und Lineamentrichtungen schon allein aufgrund des Größenunterschieds der betrachteten Objekte problematisch und wird insbesondere bei der Existenz von flacher als 60 - 70° einfallenden Klüften der Fragestellung kaum gerecht (s. Kap. II.4.3.).
BODECHTEL & NITHACK (1974) zeigten einen Weg auf, wie man kombinierte Satellitenbildinterpretation, Luftbildauswertung und - allerdings räumlich ebenfalls noch eng begrenzte - Geländearbeit zur Interpretation großtektonischer Zusammenhänge heranziehen kann. Abbildung 1 veranschaulicht das von diesen Autoren entworfene Bewegungsmodell für den Nordapennin.
Die Interpretation von Großstörungen im Satellitenbild und der Nachweis zweier Gefügesysteme im Gelände, die auch durch früher unternommene weiträumige Luftbilduntersuchungen belegt sind, führten zur Annahme einer Rotation des Bereichs Toskana Umbrien um 20° im Uhrzeigersinn.

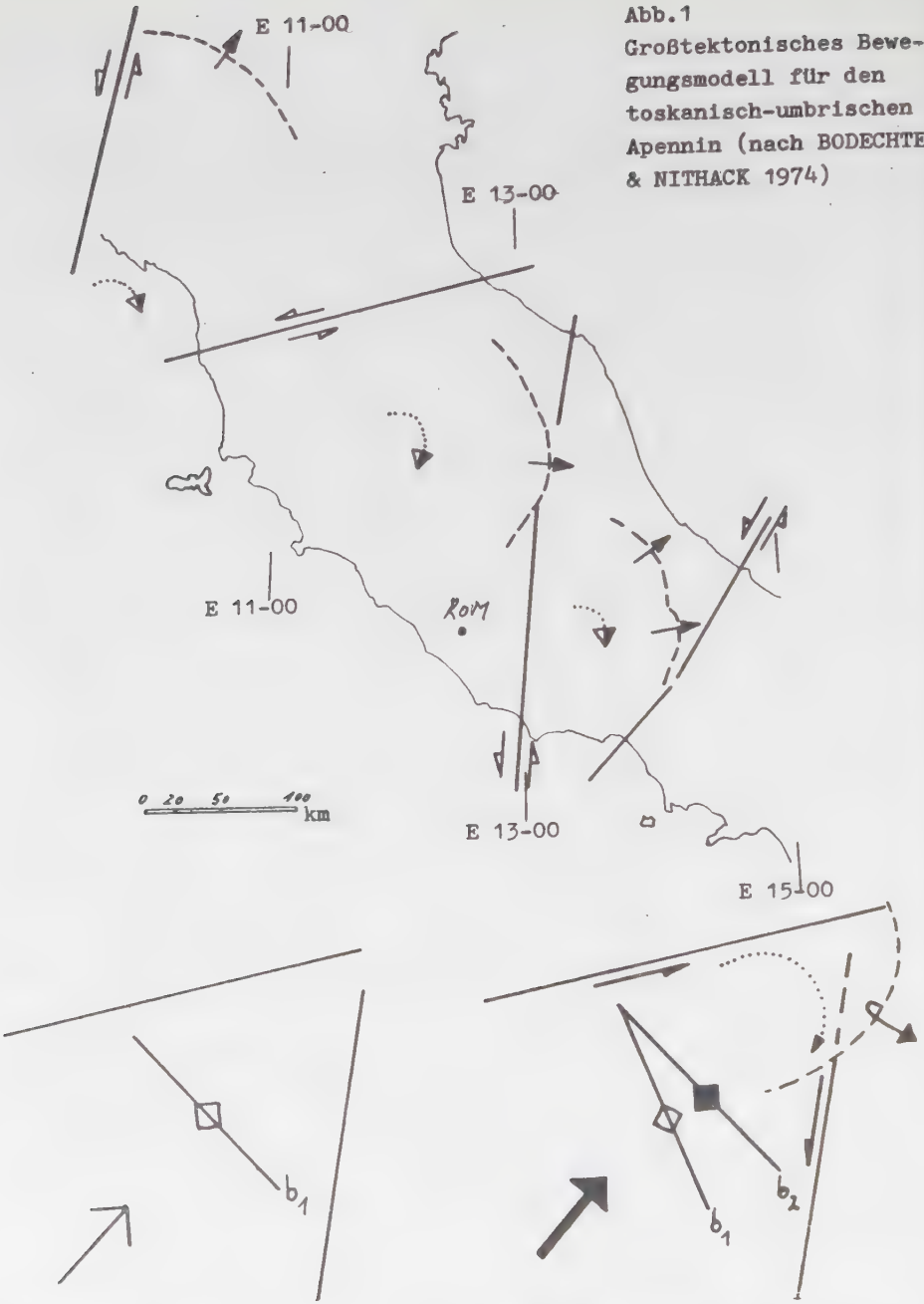


Abb.1
Großtektonisches Bewegungsmodell für den toskanisch-umbrischen Apennin (nach BODECHTEL & NITHACK 1974)

Beanspruchung SW-NE
Anlage des ersten Kluftsystems
b_1 140°

Gleiche Beanspruchungsrichtung
Rotation von b_1 im Uhrzeigersinn durch Horizontalbewegungen entlang großer Transversalstörungen
b_1 160°
Anlage des zweiten Systems
b_2 140°
Überschiebungen im N

2. 3. Kleintektonische Aufnahme

2. 3. 1. Die terrestrische Photogrammetrie als Hilfsmittel der Datenerhebung

Die kleintektonische Datenaufnahme ist heute nicht mehr ausschließlich auf den Geologenkompaß angewiesen, seit LINKWITZ (1964) die Möglichkeit erkannte, tektonische Trennflächen mittels der terrestrischen Photogrammetrie in ihrer Raumlage zu erfassen. Die Methode wurde in den späten 60er Jahren von ADLER und BODECHTEL propagiert (1968, 1969) und in der Folgezeit an der Zentralstelle für Geophotogrammetrie und Fernerkundung der DFG zur Anwendungsreife gebracht (HILLER 1973, NITHACK 1974). Sie wird heute bereits routinemäßig für die kleintektonische Datenerhebung im Ruhrkohlenbergbau eingesetzt.

Der Meßvorgang sei hier noch einmal kurz skizziert: Der Aufschluß wird mit einer Stereomeßkammer, wie sie z.B. für Architekturaufnahmen verwendet wird, aus zwei verschiedenen Blickwinkeln photographiert. Die eigentliche Messung von Flächen bzw. Linearen erfolgt an den in das Stereoauswertegerät eingelegten Photoplatten durch Aufsetzen der Meßmarke auf drei Punkten der jeweils zu messenden Fläche im Stereomodell. Die Punktkoordinaten werden automatisch registriert und auf Lochkarten ausgestanzt. Die Umrechnung der maschineninternen Koordinaten auf das geologische Koordinatensystem bewerkstelligt ein kurzes Rechenprogramm. Die Größe der kleinsten noch meßbaren Fläche hängt von der Aufnahmeentfernung ab, die zwischen 90 cm und 2 km variabel ist. Bei einer Aufnahmeentfernung von 90 cm sind Flächen von 1 cm Diagonaldurchmesser noch mit der erforderlichen Genauigkeit meßbar. Die Größe der kleinsten noch meßbaren Fläche nimmt nach NITHACK (1974) linear mit der Aufnahmeentfernung zu.

2. 3. 2. Theoretische Grundlagen

SANDER hat in grundlegender Weise die Bedeutung kleintektonischer Arbeitsmethoden für die strukturelle Interpretation des Gebirgsaufbaues und für Rückschlüsse auf die Formungsgeschichte des Gebirges aufgezeigt. Auf Einzelheiten der SANDER'schen Theorie soll hier nicht eingegangen werden. Kern-

punkt ist der Gedanke, daß die Symmetrie des "funktionalen" Gefüges durch die Symmetrie des "gestaltlichen" Gefüges abgebildet wird. Dabei bedeutet funktionales Gefüge das physikalische Kräftesystem, welches den Gesteinskörper beansprucht, und gestaltliches Gefüge das durch die Beanspruchung erzeugte, der Beobachtung zugängliche Gesteinsgefüge. Die Symmetrie des gestaltlichen Gefüges ist statistisch und muß deshalb mit statistischen Methoden erfaßt werden.
Dafür hat sich die Darstellung im flächentreuen SCHMIDT'schen Netz besonders bewährt.

SANDER hat seine Vorstellungen anhand von Untersuchungen kristalliner Gesteine entwickelt. Einen ersten Schritt zur Anwendung gefügestatistischer Arbeitsmethoden auf Sedimentgesteine stellt die Arbeit von A.FUCHS (1944) über das Rofangebirge dar. In einer neueren Arbeit über den Bau der Thierseeund Karwendelmulde setzt sich NAGEL (1975)kritisch mit der FUCHS'schen Studie auseinander. FUCHS wie auch NAGEL stützten sich bei ihren tektonischen Analysen kalkalpiner Bereiche ausschließlich auf Schichtflächenmessungen. Aus praktischen und theoretischen Gründen kam die Analyse von Schichtflächenverteilungen für vorliegende Arbeit nicht in Frage: Die praktischen Gründe sind durch die Größe des Arbeitsgebietes gegeben, die einen ungeheuren, zeitlich nicht realisierbaren Meßaufwand erfordert hätte (NAGEL verwertete für seine Entschlüsselung des Baues der Thiersee- und Karwendelmulde ca. 16 000 Messungen, FUCHS für ein Gebiet vergleichbarer Größenordnung 5 000 Messungen), die theoretischen Gründe durch die Tatsache, daß ss-Messungen letztlich nur recht unsichere Aussagen über Beanspruchungsstadien vor der eigentlichen Faltung ermöglichen - wie NAGEL's Kritik an der FUCHS'schen Arbeit deutlich zeigt .

Die Analyse des Kluftgefüges ermöglicht dagegen sehr detaillierte Rückschlüsse auf die tektonische Beanspruchung des Gebirges, was R.E.ADLER und seine Mitarbeiter (zuletzt 1973) exemplarisch am Beispiel des Ruhrkarbons dargelegt haben. Von besonderem Interesse ist die Tatsache, daß das Kluftgefüge eindeutig die Auswirkung von Beanspruchungsphasen erkennen läßt, die vor der

eigentlichen Faltung stattgefunden haben. Ebenso ist der Einfluß von Störungen und Lineamenten im Kluftgefüge klar ausgeprägt. Die überregionale Anwendbarkeit des von ADLER im Ruhrkarbon entwickelten Konzeptes auf Gebiete außerhalb des Ruhrkarbons ist durch die Ergebnisse mehrerer, am hiesigen Institut durchgeführter Diplomarbeiten erwiesen (di BERNARDO 1976, JASKOLLA 1975, SMOLKA 1974).

2. 3. 3. Ältere Arbeiten

Kleintektonische Untersuchungen wurden im nördlichen Apennin bisher erst in geringem Umfange durchgeführt.
WUNDERLICH (1964) erstellte eine Achsenkarte der Apuaner Alpen und angrenzender Gebiete, die eine Achsenvergitterung alpiner und apenninischer Richtungen anzeigt.
BODECHTEL (1968) gründete seine tektonische Synthese der südlichen Toskana neben intensiven Luftbildauswertungen auf zahlreiche Geländemessungen (ss-Flächen und b-Achsen). BODECHTEL deutet seine Messungen im Sinne eines einheitlichen apenninen, d.h. faltungsbezogenen Bauplanes. Ferner wurden im Rahmen einiger Dissertationen der Berliner Schule gefügekundliche Arbeitsmethoden angewandt, wobei jedoch die Anzahl der erhobenen Daten teilweise für eine fundierte statistische Verarbeitung nicht ausreicht (FREY 1969, HEYMANN 1968, RENTZ 1971, STRUENSEE 1967). Auch diese Arbeiten bestätigen einen entsprechend den Faltenachsen orientierten, "apenninischen" Bauplan.
Von italienischer Seite sind vor allem die Arbeiten PASSERINI's (1966, 1972) zu nennen, der u.a. Kleinstörungen, d.h. gestriemte Kluftflächen, in der Nähe der großen Mte.Falterona-Überschiebung analysierte. PASSERINI interpretierte seine Messungen ausschließlich im Hinblick auf diese Großstörung, ohne den mit Sicherheit vorhandenen Einfluß der Faltungstektonik zu berücksichtigen. Die Arbeit von PASSERINI zeigt deutlich, wie problematisch es ist, nur gestriemte Kluftflächen für die tektonische Analyse zu verwenden. Obwohl im von PASSERINI bearbeiteten Cervarola-Sandstein noch vergleichsweise häufig Striemung erkennbar ist (im Vergleich etwa zur Scaglia Rossa Umbriens oder dem Calcare Massiccio der toskanischen und

umbrischen Serien), erscheint eine für statistische Zwecke ausreichende Datenerhebung innerhalb eines Aufschlusses kaum möglich. Die Erstreckung der Meßbereiche reicht nach Angabe des Autors bis zu 3 km. Damit ist die Bedingung der Homogenität des Meßbereiches (s. Kap. II.1) kaum mehr erfüllt. Im Durchschnitt verarbeitete der Autor etwa 55 Klüfte pro Meßbereich. Darüberhinaus läßt die Tatsache, daß ein Teil der ac-Klüfte vertikale Striemung zeigt, und entsprechend ein Teil der bc-Klüfte horizontale Striemung, vermuten, daß das heute von den Striemungen vermittelte Bewegungsbild nicht mehr unbedingt mit den zur Zeit der Kluftentstehung herrschenden Verhältnissen in Einklang steht. Die starke Bruchtektonik im Nordapennin hat ältere Kluft- und Störungsflächen aktiviert und somit auch deren ursprüngliches mechanisches Erscheinungsbild verändert.
Eine weitere kluftstatistische Erhebung größeren Ausmaßes (ca. 5 000 Messungen) wurde außerhalb des Nordapennins von GUZZETTA & SCARSELLA (1966) auf der Halbinsel Cilento (Zentral-Apennin) durchgeführt. In dieser Arbeit wird die Existenz nicht faltungsbezogener Kluftrichtungen deutlich. Freilich ist die von den Autoren vorgenommene Interpretation des Kluftgefüges im Sinne der "wrench fault tectonics" (MOODY & HILL 1956) heute vom Standpunkt der Felsmechanik her überholt.

2. 4. Lage der Geländeprofile

Der zur Vollendung des Vorhabens verfügbare Zeitraum war entsprechend dem Auslaufen des Geodynamikprogramms auf knapp 2 Jahre begrenzt. In Anbetracht dieser zeitlichen Beschränkung war es geboten, die kleintektonische Datenerhebung auf zwei Profile quer zum Gebirgsstreichen zu begrenzen. Die zu wählenden Geländeprofile sollten sich sinnvoll in das Bezugsnetz einfügen, welches durch vorangegangene Arbeiten im Geodynamikprogramm aufgespannt war. Die Lage der Traversen wurde nach Durchmusterung der Satellitenbilderfestgelegt und geht aus Abbildung 2 bzw. Anlage 2 hervor, auf denen die regionale Verteilung der Meßpunkte eingetragen ist. Die genauere Bezeichnung der Meßpunkte ist anhand der Nummern aus Tab. 9 (S.54) zu ersehen.

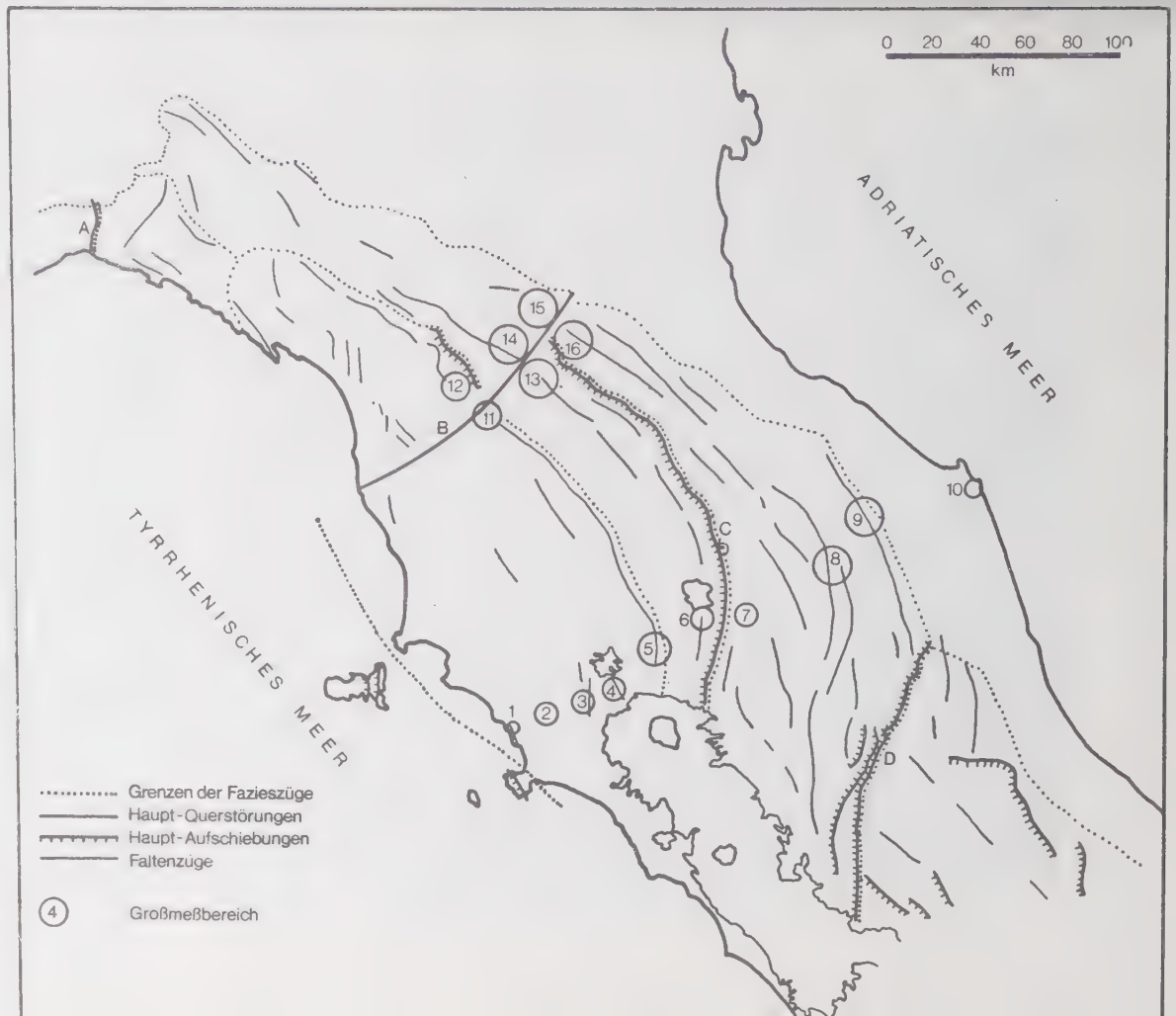


Abb.2 Lage der Geländemeßprofile (Kartenunterlage modifiziert nach ABBATE et al. 1970)

Das nördliche Profil zeichnet die sogenannte Prato-Sillaro-Linie nach, eine bedeutende transversale Störungszone, deren Funktion als Faziesgrenze von BORTOLOTTI (1966) aufgezeigt und später von GROSCURTH & HEMMER (1973) eingehend untersucht wurde. Die Festlegung des südlichen Profils schließt an die vorausgegangenen Arbeiten von BODECHTEL (1969), BODECHTEL & NITHACK (1974) und SMOLKA (1974) an (s.Kap. I.2.2.3.).

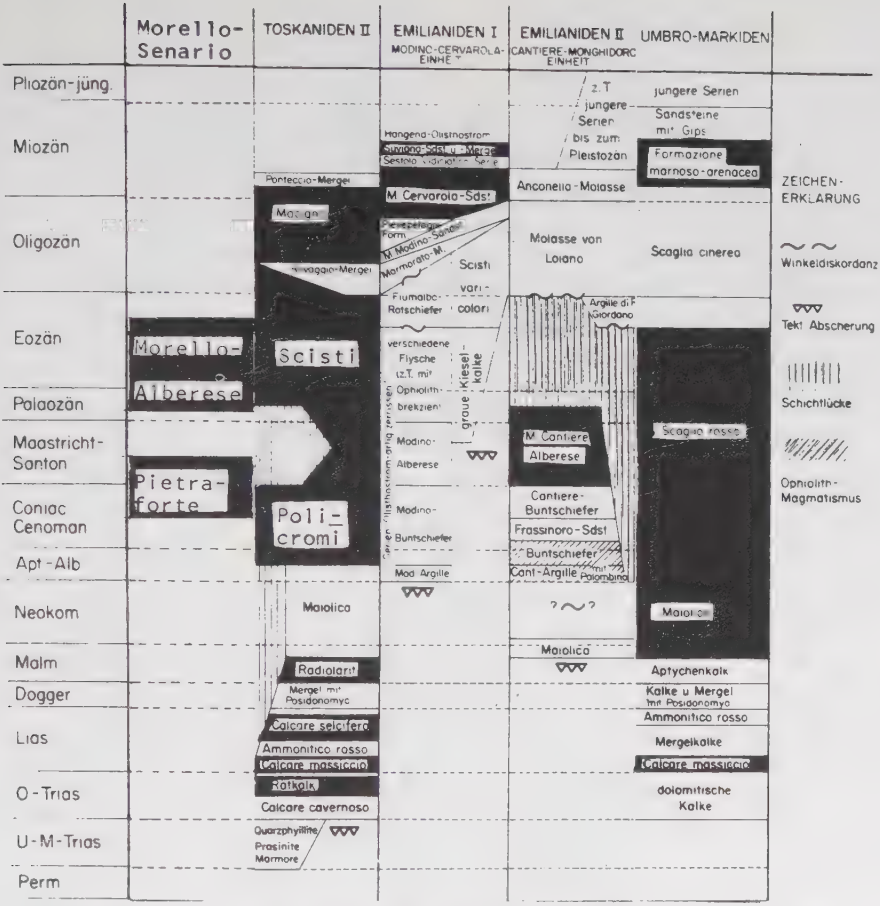
2. 5. Spezielle Problemstellung

Unter Berücksichtigung der in den vorigen Kapiteln abgehandelten Punkte läßt sich nun der Problemkreis der Arbeit genauer umreißen. Grundsätzlich kann zwischen regional-geologisch orientierter und methodischer Zielsetzung unterschieden werden:
Die regional-geologischen Zielsetzungen ergeben sich direkt aus I. 2. 4.:
- anhand des nördlichen Profils sollte das tektonische Erscheinungsbild der Prato-Sillaro-Linie (bzw. Livorno-Sillaro-Linie nach BORTOLOTTI) geklärt werden. Ein solches Bild ist bei BORTOLOTTI (1966) in Grundzügen bereits dargestellt, jedoch kaum durch tektonische Daten untermauert.
- das südliche Profil sollte der Überprüfung des von BODECHTEL & NITHACK aufgestellten, bisland erst durch wenige Geländedaten gestützten Bewegungsmodells für den toskanisch-umbrischen Apennin dienen.
- eine über den Bereich der Geländeprofile hinausgreifende Satellitenbildinterpretation sollte die tektonischen Großelemente des Nordapennins topographisch erfassen (in Ergänzung der intensiven faziell-sedimentologischen Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen) und eine Analyse ihrer Richtungsverteilung ermöglichen.
Die methodischen Zielsetzungen sind abzuleiten wie folgt:
- die terrestrische Photogrammetrie - bislang nur für kleinere Meßserien eingesetzt - war im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für großregional angelegte und entsprechend langdauernde Meßserien zu prüfen.
- anhand von exakt lokalisierbaren Satellitenbildlineamenten sollte deren tektonische Bedeutung durch gezielte Geländemessungen im Nahbereich des Lineaments aufgezeigt werden.
- die kluftstatistische Arbeitsmethode - von ADLER am Beispiel des in seinem Aufbau detailliert bekannten Ruhrkarbons entwickelt - sollte für die Erkundung eines Gebietes nutzbar gemacht werden, dessen tektonischer Bau nur in vergleichsweise groben Zügen umrissen ist.
- die unabhängig voneinander erstellten [illegible] der detaillierten Satellitenbild[illegible] und [illegible]-

weitiger Geländeuntersuchungen waren zu korrelieren und damit letztlich die Frage zu klären
- inwieweit eine Satellitenbildinterpretation in Verbindung mit gezielter Geländearbeit zur Klärung der geologischen Struktur eines größeren Gebietes beitragen kann und welcher Wert dieser Arbeitsmethodik im Vergleich zur "klassischen" geologischen Geländeaufnahme zukommt.

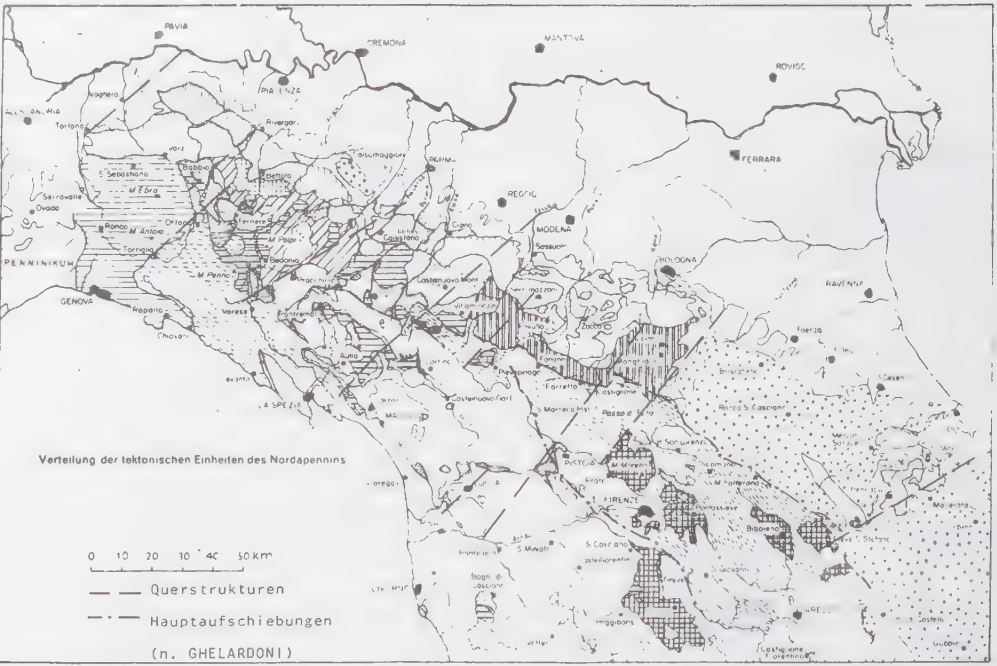
I.3. Geologische Einführung

Nach REUTTER (1968) kann man im Nordapennin vier tektonische Großeinheiten unterscheiden (in der ursprünglichen paläogeographischen Anordnung von intern nach extern):
Liguriden I - IV
Toskaniden I,II
Emilianiden I - V
Umbro-Markiden -
Davon werden Toskaniden I, Umbro-Markiden und die Emilianiden I (d.h. der Cervarola-Sandstein) als autochthon bis parautochthon angesehen, die übrigen Einheiten dagegen als allochthone Decken. Allerdings ist eine echte Deckennatur für die Toskaniden II zumindest in der südlichen Toskana nicht gesichert.
Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Stratigraphie der tektonischen Einheiten, in welchen Kluftmessungen vorgenommen wurden (nach REUTTER 1968 und BORTOLOTTI et al.1970). Die betreffenden Schichtglieder sind durch Schattierung hervorgehoben.(zur stratigraphischen Stellung der einzelnen Meßpunkte vgl. Tab.8).Die Morello-Senario-Gruppe, deren tektonische Stellung auf der folgenden Übersichtskarte noch als ungewiß ausgewiesen ist, kann nach neueren Arbeiten der Berliner Schule (GROSCURTH 1972) der Kalk-Ton-Einheit s.l. (Liguriden I) zugerechnet werden. GHELARDONI (1965) hat darauf hingewiesen, daß der Nordapennin nicht nur eine Längsgliederung in verschiedene Faziesräume aufweist, sondern auch in transversaler Richtung sehr markant in strukturelle Tiefs und Hochs zergliedert ist, die wiederum Faziesunterschiede bewirken. Die Grenze der Tief- und Hochlagen bilden Querstrukturen, die im allgemeinen wertfrei als "Linien" bezeichnet werden. BORTOLOTTI (1966) sowie GROSCURTH und HEMMER (1973) vertieften die Gedanken GHELARDONIS durch Arbeiten im Bereich der sogenannten Livorno-Sillaro-Linie (bzw. Prato-Sillaro-Linie).



Tab. 1 Stratigraphie (nach REUTTER 1968 und ABBATE et al. 1970)

Die Autoren konnten dort eine deutliche Faziesdifferenzierung beiderseits der Linie nachweisen. Weitere bedeutende, den Gebirgsbau prägende Querstrukturen sind die Voghera-Störung (die morphologische Begrenzung des Nordapennins nach W), die Taro-Struktur (gekennzeichnet durch das Verschwinden der Toskaniden) und die Linie Ancona-Anzio (die südliche Grenze des Nordapennins gegen die Abruzzen). Während die fazielle Bedeutung dieser Linien meist schon aus der geologischen Karte deutlich hervorgeht, liegt ihre tektonische Bedeutung oft im Dunkeln.



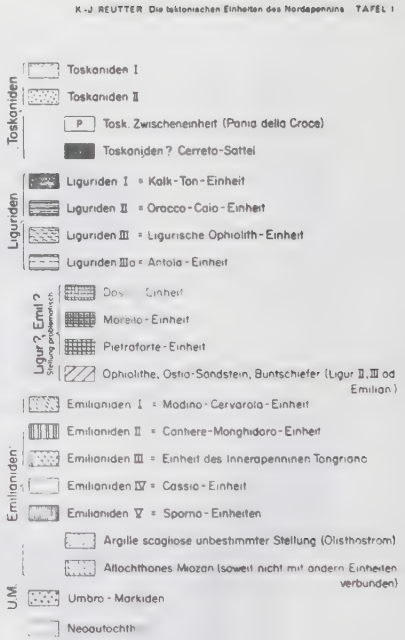


Abb. 3 Tektonische Einheiten und Hauptquer- und Längsstrukturen im Nordapennin (n, REUTTER 1968)

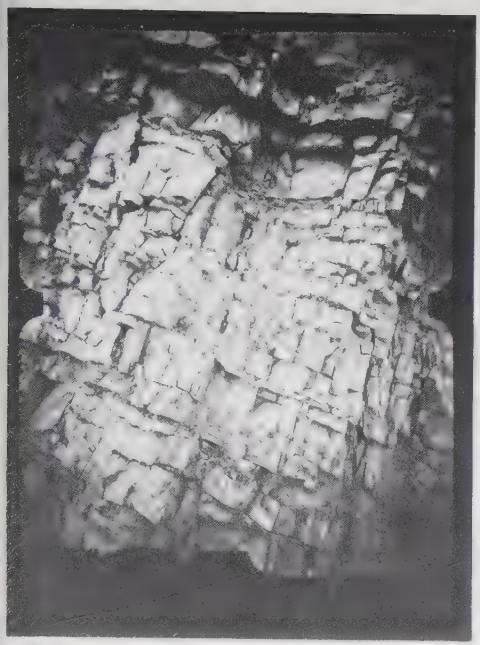
Wichtige tektonische Längsstrukturen sind die Cetona-Orsaro-Struktur (als Verbindung der am weitesten östlich gelegenen Vorkommen toskanischen Mesozoikums) und die Monte Falterona-Aufschiebung, in vorliegender Arbeit auch als Cervarola-Hauptaufschiebung bezeichnet. Südlich der Prato-Sillaro-Linie ist diese Aufschiebung mit der Grenze zwischen emilianischem und umbro-markischem Faziesraum identisch. Die Lage dieser genannten Strukturen geht aus Abb. 3 hervor.

II. Arbeitsmethodik

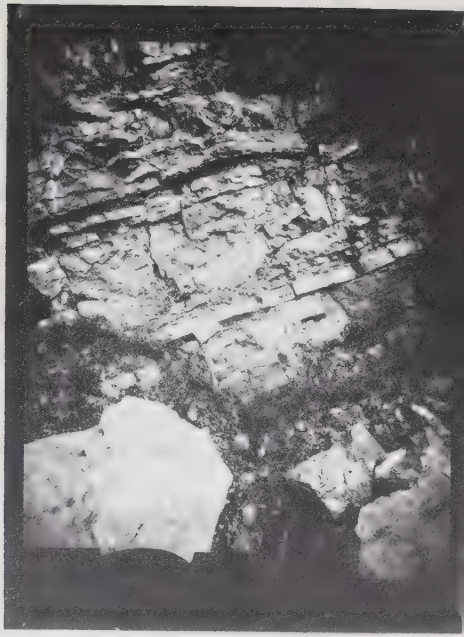
II. 1. Geländeaufnahme

Die Anordnung der Meßpunkte ist nicht das Ergebnis theoretischer Erwägungen, wie z.B. möglichst gleichmäßige Streuung der Meßpunkte hinsichtlich Topographie, Stratigraphie und tektonischer Einheiten, sondern ausschließlich durch die Aufschlußbedingungen bestimmt. Diese sind in erster Linie abhängig von der Petrologie. Am besten aufgeschlossen sind die Kalkserien der toskanischen und umbro-markischen Fazies. Ebenfalls gut, aber selten aufgeschlossen sind dagegen die Kalksandsteine der Pietraforte-Gruppe und der oligozäne Macigno-Flysch. Die Formazione Marnoso-Arenacea ist in ihrer südlichen, vorwiegend mergeligen Fazies für Kluftmessungen unbrauchbar, während die im Norden anzutreffende sandige Fazies großartige Wandaufschlüsse zeigt, die jedoch selbst für die terrestrische Photogrammetrie nur selten zugänglich sind. Allgemein herrschten im südlichen Arbeitsgebiet wesentlich bessere Bedingungen als im nördlichen Profil, wo die am besten zugänglichen Serien in allochthonen Komplexen liegen, wie im Morello-Alberese und am Sasso di Castro. Der Cervarola-Sandstein ist dagegen selten und schlecht aufgeschlossen.

Wenn möglich, wurde die tektonische Geländeaufnahme in Steinbrüchen durchgeführt, wobei in jedem Steinbruch möglichst zwei Meßbereiche eingerichtet wurden. Im Aufschluß oder in dessen Umgebung erkennbare Störungen wurden mit dem Gefügekompaß eingemessen. Die Aufnahmeentfernung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen variierte entsprechend den Aufschlußverhältnissen und der Größe der zu messenden Kluftflächen (die wiederum vom Gesteinsmaterial abhängt) zwischen 90 cm (Calcare Massiccio, Diaspri, Scaglia Rossa) und 150 m (Wandaufschlüsse der Marnoso-Arenacea im Santerno-Tal). Die verschiedenen Entfernungen sind auf der folgenden Seite durch einige Bildbeispiele veranschaulicht.



Meßpunkt S32 Straße Pian d'Elmo-Frontale
Aufnahmeentfernung 90 cm



Meßpunkt S5 Scansano
Aufnahmeentfernung 5m

Meßpunkt S4 Str. Magliano-Scansano
Aufnahmeentfernung 20-25m

Meßpunkt N8 Santerno-Tal
Aufnahmeentfernung ca.150m

Abb.4 Beispiele für verschiedene Aufnahmeentfernungen

Regional verteilen sich die Kluftmessungen wie folgt:
nördliches Profil: 6185 Messungen (ausschließlich terrestrisch-photogrammetrisch aufgenommen)
34 Aufschlüsse (3 Cantiere-Monghidoro-Einheit
3 Sasso di Castro-Schuppe
10 Serie Toscana
4 Marnoso-Arenacea
9 Cervarola-Sandstein
5 Alberese)
mit 60 Meßbereichen
südliches Profil: 7968 Klüfte (6609 terrestrisch-photogrammetrische und 1329 Kompaßmessungen)
in 36 Aufschlüssen (14 Serie Toscana
3 Pietraforte
19 Serie Umbra)
mit 74 Meßbereichen

In diesem Zusammenhang seien gleich die Erfahrungen vorweggenommen, die beim Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie gegenüber der herkömmlichen Meßmethode mit dem Gefügekompaß gesammelt wurden. Erreicht wurden:
- eine erhebliche Verkürzung des Geländeaufenthaltes: Für 300 Kompaßmessungen in einem Aufschluß sind mindestens 4 Stunden zu veranschlagen (incl. Registrierung der Daten auf Cassettenrecorder oder schriftlich). Drei Stereoaufnahmen = 300 Messungen erfordern etwa 20 Minuten bei Verwendung einer Balkenkamera mit zwei fest montierten Meßkammern (z.B. ZEISS SMK 40 oder 120), ca. 45 Minuten bei Verwendung einer einzelnen Meßkammer, die für die jeweils zweite Aufnahme eines Stereobildpaares umgesetzt werden muß. Von erhöhter Bedeutung ist dieser Zeitfaktor vor allem an Straßenaufschlüssen und noch in Betrieb befindlichen Steinbrüchen, da dort ein längeres, ungestörtes Arbeiten nur selten möglich ist. Insbesondere, wenn die Lage der Aufschlüsse bereits bekannt ist (wie es beim zweiten Geländeaufenthalt der Fall war), läßt sich eine enorme Zeitersparnis im Gelände erzielen: Während der zweiten Meßkampagne wurden innerhalb von 8 Tagen 66 Bildpaare aufgenommen. Dabei wurde eine Fahrtstrecke von 2100 km in der Gesamterstreckung beider Geländeprofile zurückgelegt.

- der Meßvorgang selbst ist schneller durchführbar: Einer Tageshöchstleistung von 500 - 600 Kompaßmessungen in einem einzigen Aufschluß stehen bis zu 1000 photogrammetrische Messungen in einem oder mehreren Aufschlüssen gegenüber.
- Objektivität der Messungen: Die terrestrische Photogrammetrie erlaubt die Erfassung von Flächen, die infolge geringer Größe oder Unzugänglichkeit nicht mit dem Kompaß gemessen werden können. So wurde die Erfassung des Kluftgefüges beispielsweise in den Wandaufschlüssen der Formazione Marnoso-Arenacea im Santern-Tal, in den Macigno-Steinbrüchen am Mte. Albano und einem Teil der Calcare Massiccio- und Diaspri-Aufschlüsse überhaupt erst durch die terrestrische Photogrammetrie ermöglicht.
Die Größe des Meßbereiches variierte gemäß der Größe der ausgebildeten Kluftflächen mit der Aufnahmeentfernung. Allgemein wurden innerhalb eines Bereiches gleicher Schichtlagerung ca. 100 Kluftflächen auf möglichst kleinem Raum gemessen, d.h. es wurde Bank für Bank jede erkennbare Kluftfläche gemessen. Die Klüfte wurden nach drei Größenklassen gewichtet (relative Größe innerhalb des Meßbereiches).

II. 2. Satellitenbildauswertung

Da die verwendeten SKYLAB-Aufnahmen in stereoskopischer Überdeckung vorlagen, konnte im Rahmen der Arbeit zum erstenmal eine Satellitenbildauswertung mit einem Stereo-Präzisionsauswertegerät, dem ZEISS Planimat D 2 vorgenommen werden. Damit war eine optimale Ausschöpfung des Informationsgehaltes der Bilder gewährleistet, sowohl was die Quantität der gebotenen Information anbetrifft, als auch hinsichtlich der topographisch genauen Darstellung dieser Information auf Karten. Ausgewertet wurden 6 x 6 - Dias mit einem durchschnittlichen Aufnahmemaßstab von 1 : 2,85 Mill. (Abb. 5 Bildausschnitte SKYLAB und LANDSAT). Das Einpassungsverfahren sei aufgrund seiner prinzipiellen Bedeutung hier kurz geschildert:

Eine Hauptschwierigkeit liegt schon am Beginn beim Aufbringen der 6 x 6 - Bilder auf die für ein Bildformat von 23 x 23 konzipierten Bildträgerplatten. Weder die Bilder noch die Trägerplatten besitzen die entsprechenden für Luftbilder üblichen Randmarkierungen. Der am einfachsten zu begehende Weg ist die Ausrichtung der Bilddiagonalen nach den Eckmarkierungen der Bildträgerplatten. Dies geschah mit Hilfe zweier in Diagonalrichtung angebrachter Transparentfolienstreifen, unter denen sich das Satellitenbild ohne Schwierigkeit einpassen ließ. (Die Bedeutung des Einlegens der Bilder besteht darin, daß umso weniger Korrekturen im Stereomodell notwendig werden, je genauer die Bilder eingelegt sind).
Die Brennweite der Aufnahmekamera beträgt 152,4 mm. Die angenäherte Bildbasis b_x berechnet sich nach der Formel

$b_x = \frac{x \cdot f}{h}$, wobei

x = realer Hauptpunktabstand in km
f = Brennweite der Aufnahmekamera
h = Flughöhe

zu $\frac{136{,}7 \text{ km} \times 152{,}4 \text{ mm}}{434 \text{ km}} = 48{,}00 \text{ mm}$

Nach der Einstellung von Brennweite und angenäherter Bildbasis folgt die relative Bildorientierung nach einem der für Luftbilder üblichen empirischen Korrekturverfahren. Die Hauptfehlerquellen lagen, wie sich zeigte, in κ , φ und b_y. Der Fehler in ω war nur äußerst gering. Die relativ orientierten Bilder zeigten gegenüber den als Bezug benutzten amtlichen italienischen Karten im Maßstab 1 : 200 000 (geodätische Projektion nach GAUSS-BOAGA) Lagefehler von maximal o,4 mm. Das bedeutet, daß die Zentralprojektion des SKYLAB-Bildes aufgrund der hohen Aufnahmeentfernung nur ganz unwesentlich von einer transversalen Mercatorprojektion abweicht. Der auftretende Lagefehler, der unterhalb der international geforderten kartographischen Normen liegt, konnte auch durch den Versuch einer Absolutorientierung nicht beseitigt werden. Als Ursache kommt die exzentrische Lage der Rotationsachsen für φ und ω in Frage, insofern als selbst hohe Korrekturbeträge keinen hinreichenden Einfluß auf die Geometrie der anomal kleinen Bilder nehmen können.

Die Erdkrümmung, welche zwischen Bildzentrum und Bildecke einen Unterschied von über 2 km in z bewirkt, hat infolge der starken Ähnlichkeit des Abbildungsprinzips von Bild und Karte keinen meßbaren Einfluß auf die Lagegenauigkeit, wirkt sich jedoch beim Versuch von Höhenmessungen negativ aus. Gerätebedingt ist eine Höhenmessungsgenauigkeit von ± 50 m erreichbar, vorausgesetzt die gemessenen Punkte sind hinreichend gering voneinander entfernt, um einen Störeinfluß der Erdkrümmung auszuschalten. In der Praxis lag der Fehler bei ± 200 m. Man muß annehmen, daß dieser gegenüber der Theorie vierfache Fehler zum mindesten teilweise gerätetechnisch bedingt ist: die Übersetzung des z-Getriebes und das Format der Meßmarke sind im Verhältnis zum Bildmaßstab zu groß, so daß die Meßmarke nicht genügend genau aufgesetzt werden kann.

Aus Abb. 5 geht hervor, daß das Gebiet westlich des Taro-Tals mit LANDSAT-Aufnahmen bearbeitet wurde. Die SKYLAB-Bilder dieser Zone sind von Wolken bedeckt. Um die hervorragende Optik des Stereoauswertegerätes auch für LANDSAT-Aufnahmen nutzbar zu machen, wurden zwei LANDSAT-Bilder desselben Aufnahmestreifens ausgewertet, die zu verschiedenen Zeitpunkten etwas gegeneinander versetzt aufgenommen wurden, so daß eine etwa 90%ige Überlappung zustandekam. (Inzwischen werden vom EROS-Data-Center in Sioux Falls auch LANDSAT-Stereobildpaare hergestellt).

Eine relative Orientierung dieser Bilder ist nur für bestimmte Bildbereiche möglich, da die LANDSAT-Daten nicht nach dem Prinzip der Zentralprojektion vom Magnetband abgespielt sind, sondern nach einem modifizierten Abbildungsverfahren der UTM-Projektion. Die Lücke zwischen nördlichem und südlichem SKYLAB-Streifen wurde ebenfalls auf LANDSAT-Szenen kartiert (s. Abb.5).

Folgende Arbeiten wurden mit Satellitenbildern am ZEISS-Planimat durchgeführt:

- eine Kartierung von Lineamenten und Großfaltenstrukturen im Maßstab 1 : 500 000. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden dabei nur Lineamente von mehr als ca. 3 km Länge erfaßt.
- eine Speziallineamentkartierung für den Bereich Monte Albano-Prato-Sillaro-Linie im Maßstab 1 : 100 000. Eine

entsprechende Auswertung der Linie Ancona-Anzio war wegen Wolken- bzw. Schnee-Bedeckung nicht zu bewerkstelligen.
- eine Erfassung sämtlicher sichtbaren Lineamente auf Lochkarten über das angeschlossene Koordinatenregistrierungsgerät ECOMAT 11.

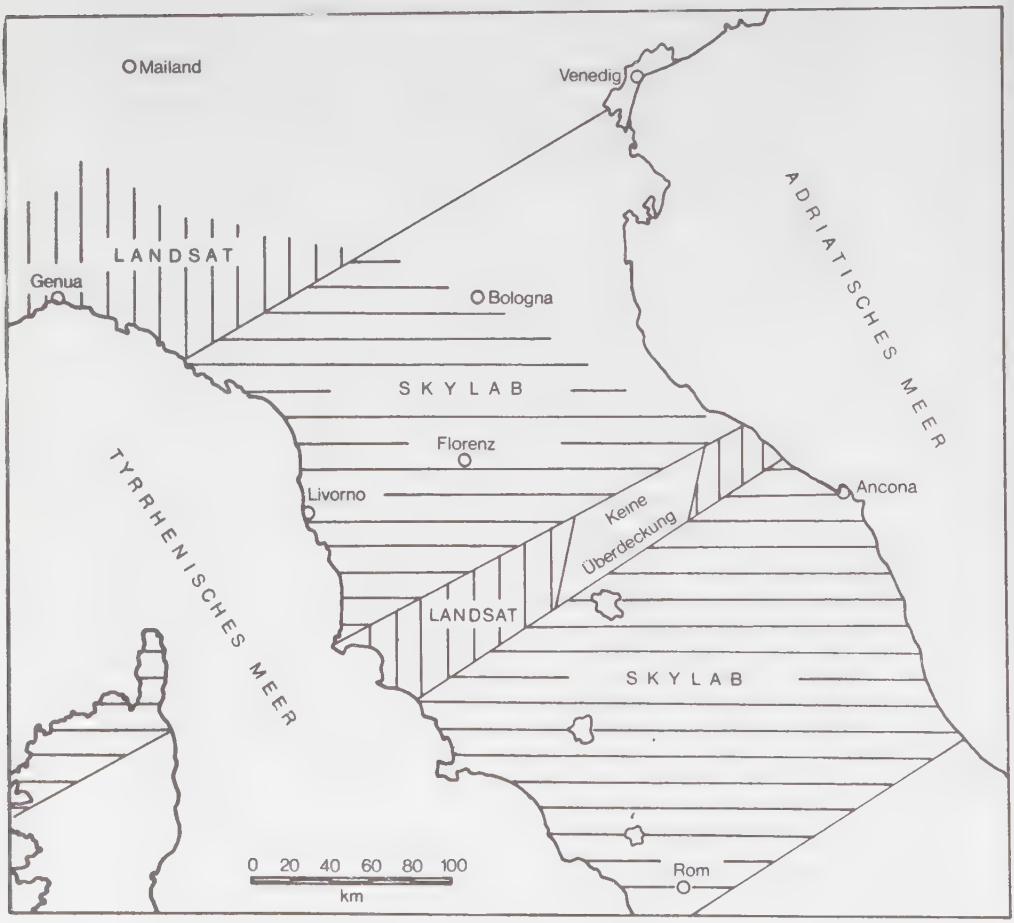


Abb.5 Lage der im Satellitenbild bearbeiteten Gebiete

II.3. Verarbeitung der Daten

Die im ZEISS-Planimat gemessenen Kluftflächenkoordinaten wurden über das automatische Koordinatenregistrierungsgerät ECOMAT 11 und den angeschlossenen IBM-Kartenlocher auf Lochkarten ausgestanzt. Die Umrechnung vom maschineninternen Koordinatensystem auf geologische Koordinaten besorgte ein kurzes, an der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung der DFG verfügbares Rechenprogramm. Die Handmessungen wurden ebenfalls auf Lochkarten übertragen. Die Weiterverarbeitung der Kluftdaten zu Polpunkt-, Isolinien- und gegebenenfalls zu CUT-ALL-Diagrammen erfolgte mit dem Rechenprogramm GELI (HAYDN 1971).
Die Satellitenbildlineamente wurden in den Kluftflächen analoger Weise erfaßt. Endprodukt des Verarbeitungsprozesses war die Ausgabe der Richtungsverteilung der Lineamente (absolute Länge pro $1o^{o}$-Klasse) in Histogrammform. Das Programm GELIN (Autor M.Seiderer) ist so ausgelegt, daß die Histogramme über ein beliebig großes Rasterfeld integrieren.

II. 4. Dateninterpretation

4. 1. Kluftdiagramme

Bei der Interpretation der Kluftdiagramme wurde die von SANDER (1932) eingeführte Terminologie benutzt, die in folgender Abbildung veranschaulicht wird:

Trennflächensymbole

ac ◇
bc ⬭
hko ▽
hol ○
okl □
ss x

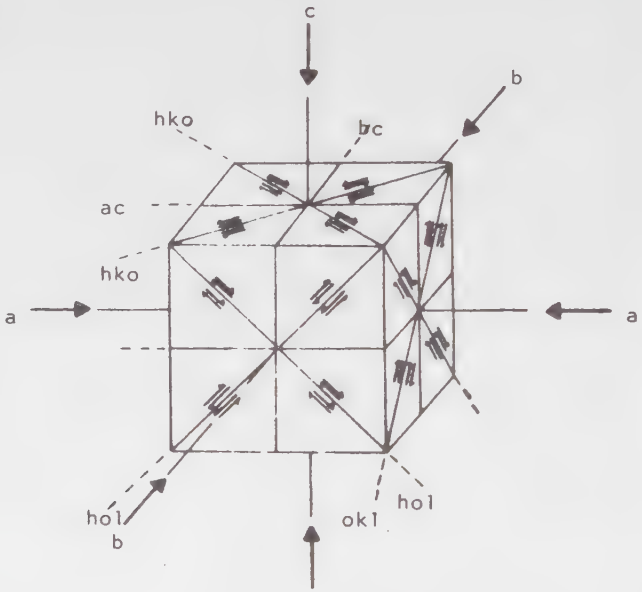


Abb. 6
Idealwürfel der Bruchdeformation (n. ADLER)

Bei der Indizierung der Diagramme bestätigte sich die Erfahrung, daß sich die auftretenden Kluftkonfigurationen in den allermeisten Fällen nicht einem einzigen Gefüge zuordnen lassen. Vielmehr sind im allgemeinen mindestens zwei Kluftsysteme ausgebildet. Die Symmetrie beider Gefüge bildet die rhombische Symmetrie des Beanspruchungszustandes mit drei aufeinander senkrecht stehenden Hauptspannungsrichtungen ab. Dabei sind Abweichungen vom rechten Winkel bis zu mehr als 5^{o} möglich (BOCK 1972). Die beiden Kluftgefüge zeigen eine systematische Beziehung zu bestimmten Gefügeelementen in ähnlicher Weise, wie es ADLER im Ruhrkarbon ermittelte und wie hier anhand der Abbildung 7 dargelegt werden soll:

Abb.7 Kluftdiagramm Meßpunkt S 15 S.Casciano N 123 Klüfte

System 1 (im folgenden als b_1- oder b_{ss}-System bezeichnet) ist auf die Schichtlagerung bezogen in der Weise, daß die c-Achse senkrecht auf der Schichtung steht, a- und b-Achse in der Schichtung liegen. Die genaue räumliche Stellung von a bzw. b wird unter Beobachtung der Anordnung der hko-Scherflächen festgelegt. Im Normalfall halbiert a den spitzen Winkel der Scherflächen gemäß den Erfahrungen der Felsmechanik. Manchmal legt der Zusammenhang mehrerer Diagramme eine Lage von a im stumpfen Winkel nahe. In diesen Fällen muß entweder auf eine durch andauernde Beanspruchung //a hervorgerufene Internrotation (Plättung) der ursprünglich spitzwinklig zu a angelegten Flächen geschlossen werden oder auf eine durch lokale Spannungsumkehr bedingte primäre Anlage spitzwinklig b. Fehlen hko-Flächen, so ist die Lage der Achsen durch ac- bzw. bc-Flächen angezeigt, deren ungefähre Lage aus dem Zusammenhang mit anderen Meßbereichen abzuleiten ist.

System 2 (im folgenden als b_2- oder b_f-System bezeichnet) richtet sich mit der b-Achse nach dem Faltenstreichen. Lokale Änderungen der Faltenachsenrichtung wirken sich auf die b_2-Achse nur bedingt aus, wie Abbildung 8 zeigt, d.h. die b_2-Kluftachsen sind räumlich beständiger als die Faltenachsen.
Die Position von a und c ist zunächst nicht unmittelbar festgelegt. Theoretische Erwägungen berechtigen jedoch zu der Annahme, daß eine der Hauptnormalspannungen immer senkrecht zur Erdoberfläche steht (ANDERSON 1950, HAFNER 1951). Dementsprechend wird auch die c-Achse des b_2-Systems zur Zeit der Anlage des Gefüges senkrecht gestanden haben, die a-Achse als Richtung des größten tektonischen Transportes nach SANDER dagegen horizontal. Bei symmetrischen, reinen Biegegleitfalten wird diese ursprüngliche Achsenanordnung im Sattelscheitel noch nach der Faltung verwirklicht sein, so daß in diesem speziellen Fall Faltengeometrie und Kluftsymmetrie identisch sind. Abb. 9 stellt die Externrotation beider Kluftgefüge mit zunehmender Auffaltung dar: Auf den Faltenflanken geht mit zunehmender Steilstellung der Schichten eine Externrotation des gesamten Gefügesystems einher (natürlich auch des b_1-Gefüges!), welche zu der vielfach beobachteten Schräglage von a- und c-Achse führt. Deshalb differieren Kluft- und Faltenkoordinaten auf den Faltenflanken in ihrer

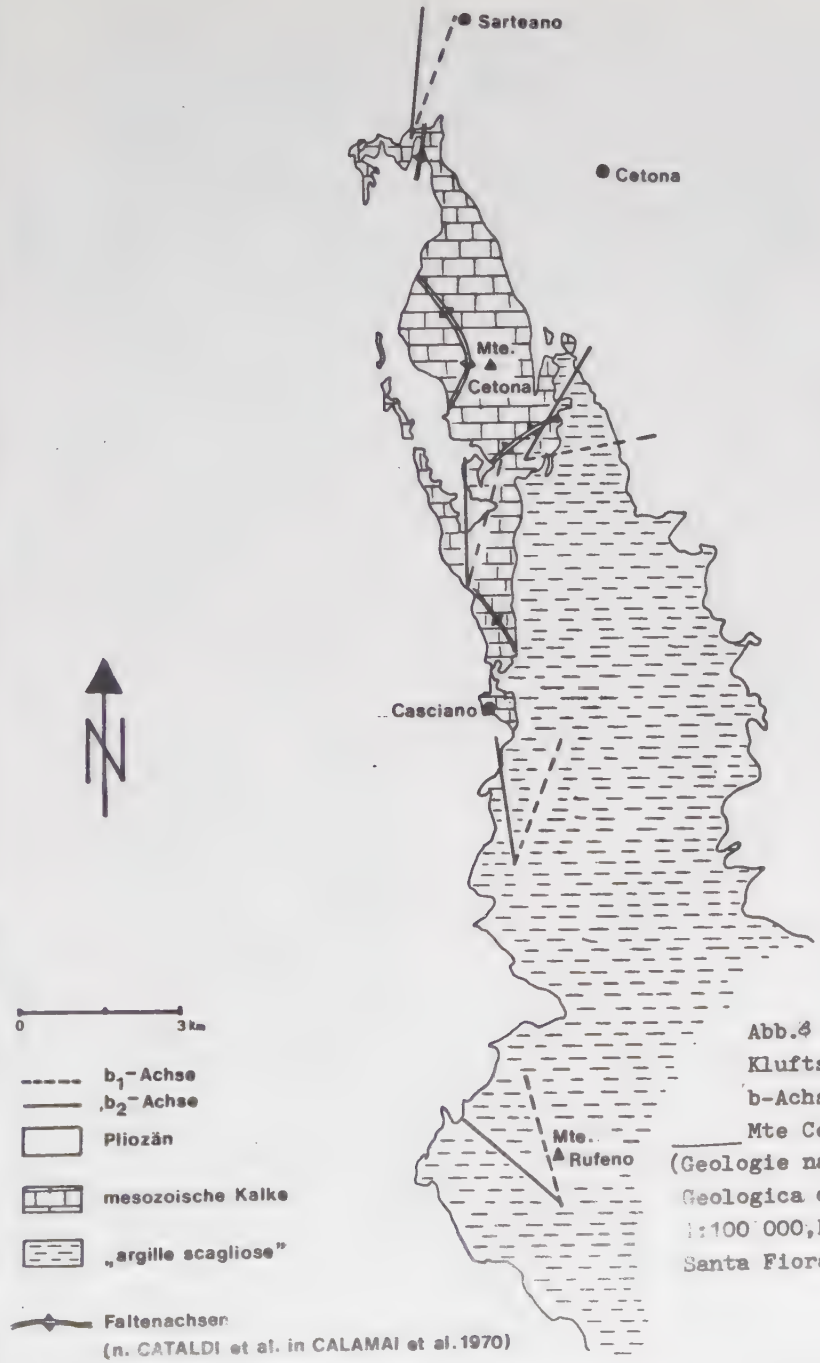
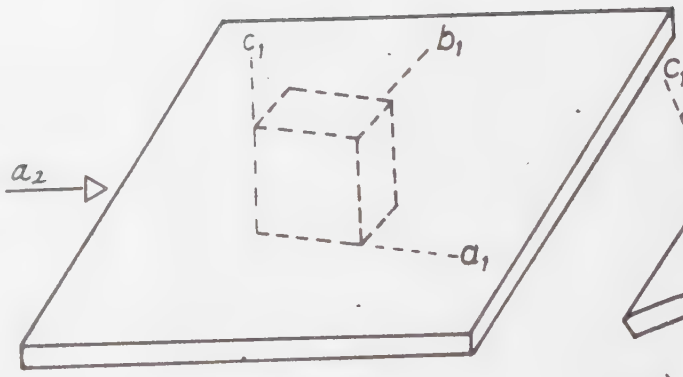
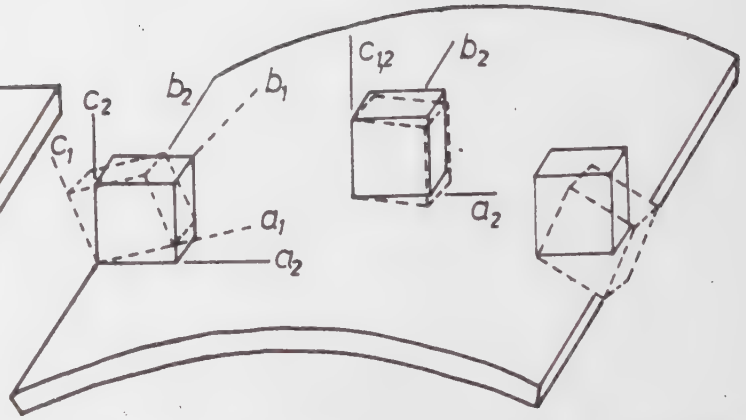


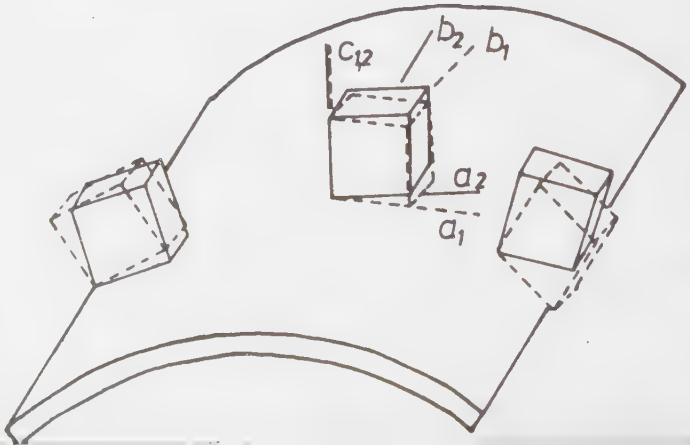
Abb. 4
Kluftsystem-b-Achsen
Mte Cetona
(Geologie nach Carta Geologica d'Italia 1:100 000, Fº 129 Santa Fiora, II ed.)

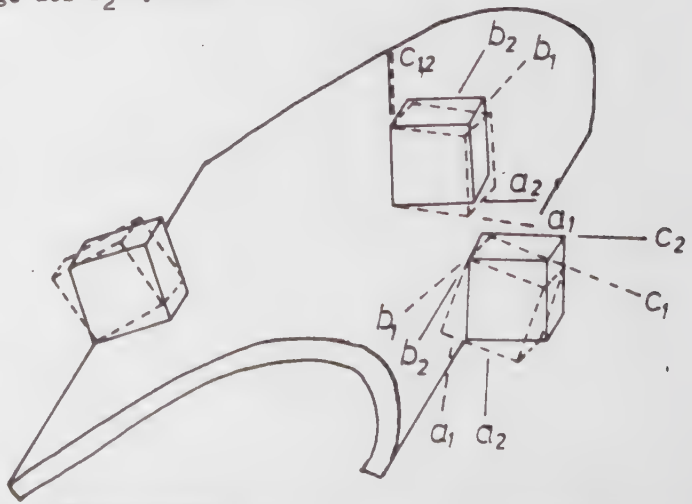


A) b_1-Gefüge gegenüber Spannungsfeld rotiert



B) beginnende Auffaltung mit Verstellung des b_1-Gefüges Anlage des b_2-Systems





D) Überkippung

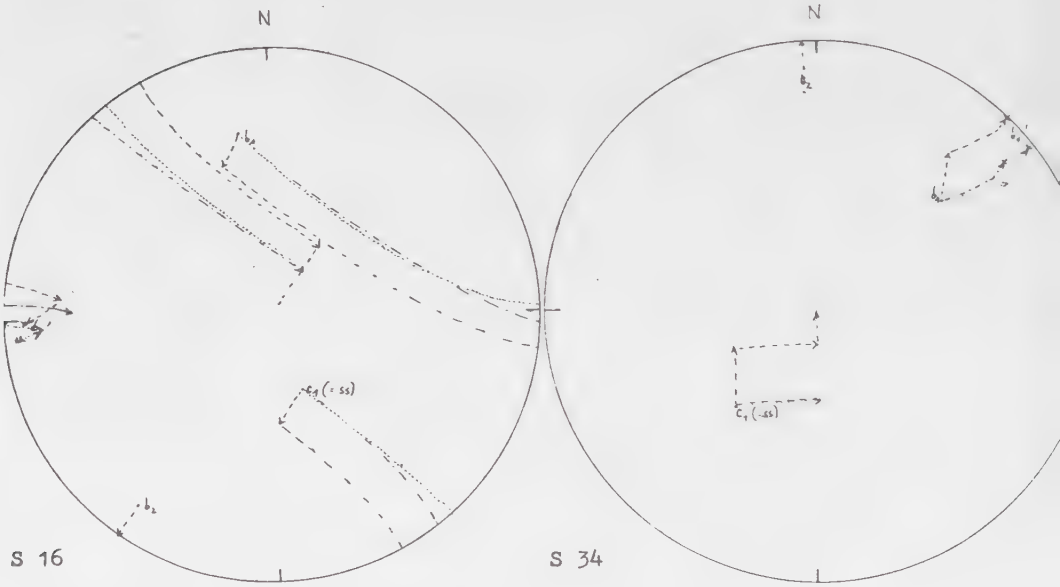
absoluten räumlichen Lage, nicht jedoch in ihrer Symmetrie. Bei vergenten Falten kommt es dann auch zu Unterschieden zwischen (monokliner) Faltensymmetrie und nach wie vor rhombischer Kluftsymmetrie. Die Bedingung einer zur Erdoberfläche senkrechten Hauptnormalspannung $\parallel$ c ermöglicht eine Aussage über die relative Altersbeziehung der beiden Gefüge:
System 1 mit c $\perp$ ss ist bei horizontaler Schichtlagerung und damit vor dem faltungsbezogenen System 2 angelegt. Das bedeutet, daß bei normaler, nicht überkippter Lagerung c_f steiler als c_{ss} stehen sollte.
In mehreren Diagrammen (s.a.Abb.7) waren mit der Indizierung zweier Gefügesysteme nicht alle Kluftmaxima erfaßt. Meistens waren diese Maxima einer im Aufschlußbereich gemessenen Störung oder auch einer Lineationsrichtung als Sekundärklüfte zuzuordnen, im vorliegenden Fall einer ESE-streichenden Störung, welche sich auch im Satellitenbild als Lineation erkennen läßt (s.Kap. III.3.2).

Bei zunehmender Auffaltung der Schichten um eine zur b_1-Achse spitzwinklige b_2-Achse ändert sich das Streichen der b_1-Achse auf den Faltenflanken. Um Aussagen über die ursprüngliche Lage der b_1-Achse treffen zu können, muß eine Rückformung vollzogen werden. Ziel der Rückformung ist die Horizontierung der Schichten um b_2 als Drehachse. Eine solche geometrische Rückformung, die man am einfachsten auf dem Schmidt'schen Netz durchführt, ist nur bei horizontaler b_2-Achse eindeutig. Bei geneigter b_2-Achse sind dagegen drei verschiedene Verfahren der Rückformung denkbar (FUCHS 1944):

a) direkte Rotation um die geneigte b_2-Achse (auf einem Hilfsnetz mit b_2 als Pol)
b) Horizontierung von b_2 mit anschließender Rotation
c) Rotation um das b_2-Streichen unter Vernachlässigung der Achsenneigung

Welches dieser Verfahren, die nicht ohne weiteres mit einer Rückabwicklung der reellen tektonischen Vorgänge gleichzusetzen sind, im jeweiligen Einzelfall anzuwenden ist, entscheidet in erster Linie die zusammenhängende Betrachtung mehrerer Meßpunkte eines größeren Bereichs. Werden beispielsweise innerhalb eines Faltenzuges mehrere Meßpunkte eingerichtet, so kann die-

jenige Methode die größte Wahrscheinlichkeit für sich beanspruchen, welche im Endeffekt die geringste b-Achsenstreuung erzeugt. Hinweise auf das anzuwendende Verfahren kann auch die Neigung von b_1 und/oder b_2 liefern: So zeigt gleichsinniges Einfallen von b_1 und b_2 eine spätere Schollenkippung an, die durch Methode b) beseitigt wird. Geringe gleichsinnige Neigungen von 10^{o} wird man oft vernachlässigen können (Methode c). Abb.10 zeigt zwei Beispiele an Diagrammen der Meßpunkte S 16,2 und 34.



Rückformung um b_2 als Pol – · – · – · –
um horizontiertes b_2 – – – – – – – –
um b_2 unter Vernachlässigung der Neigung ·····

Abb.10 Rückformungsbeispiele

Überhaupt ist der Effekt der Streichrichtungsänderung bei schwachen Achsenneigungen nur in geringem Maße vom benutzten Verfahren abhängig, wie aus den zwei Beispielen aus dem Arbeitsgebiet zu ersehen ist. Die Änderung des b_1- Streichens wird in der Geometrie von drei Faktoren beeinflußt (in zunehmender Bedeutung): Neigung der Achsen, Differenz der Achsen vor der Verstellung sowie Steilstellung der Schichten. Stärkere Auffaltung ist mit der Dehnung der Faltenflanken verbunden. Diese Dehnung äußert sich in einer Zunahme der b_1-Änderung gegenüber reinen Biegegleitfalten (flexural-slip-folds), wie sie später beschrieben wird (RAMSAY 1966, S.464). BOCK (1971) hat aufgrund rechnerischer und experimenteller Modelluntersuchungen in Zweifel gezogen, ob die Existenz komplizierter Bruchmuster zur Annahme mehrphasiger Beanspruchung berechtigt. BOCK hat jedoch nur nachgewiesen, daß Scherklüfte nicht nur zweischarig, sondern mehrscharig ausgebildet sein können. Dies ist dann von Belang, wenn mehrphasige Beanspruchung bei gleichbleibender a-Richtung gefordert wird. Für den häufig beobachteten Fall b spitzwinklig b trifft BOCK's Argumentation jedoch nicht zu. Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß das einzelne Diagramm häufig keine eindeutige Interpretation ermöglicht. Die endgültige Ausdeutung beruht auf der zusammenhängenden Betrachtung zunächst eines kleineren Bereiches (z.B. Cetona-Struktur, s. S 14-16 im Anhang, oder S.Vicino-Sattel, S. 31-35) und schließlich eines Großbereiches (z.B. Umbrien, SW-Toskana).

4. 2. Satellitenbildlineamente

Die Interpretation der Satellitenbildlineamente gliederte sich entsprechend der mehrteiligen Auswertung in folgende Schritte:

a) eine visuelle Richtungsanalyse der kartierten Großlineationen. Sie wird objektiv durch Verschieben eines beliebigen Gegenstandes mit gerader Kante parallel zu einem gegebenen Anfangslineament ausgeführt.
b) die statistische Betrachtung der Richtungsverteilung sämtlicher, digital erfaßten Lineationen. Zu diesem Zweck

wurde, wie bereits in Kapitel II.3 bemerkt, die absolute Länge der Lineationen pro 10^{o}-Klasse als Histogramm dargestellt, wobei der Nordapennin mit einem Raster der Größe 29 x 3o,5 km (in der Natur), entsprechend 15 Planquadraten pro Stereomodell, überdeckt wurde.

c) eine spezielle Analyse der Lineamentanordnung in der Umgebung der Prato-Sillaro-Linie.

Die zweistufige Erfassung der Satellitenbildlineamente - zeichnerische Darstellung in möglichst übersichtlicher Form einerseits, digitale Erfassung sämtlicher sichtbaren Lineationen andererseits - verlangt eine Erklärung. Folgende Überlegung gab den Ausschlag für dieses Vorgehen: Voraussetzung einer statistischen Betrachtung der Lineamentrichtungen ist eine "vollständige" Datenerhebung. Vollständige Datenerhebung und übersichtliche zeichnerische Darstellung schließen sich im vorliegenden Fall aus, da die Anzahl der Lineamente im Verhältnis zum geforderten Kartiermaßstab zu groß ist. Die Lineamentkarte ist das Ergebnis einer notwendig subjektiven Auswahl, deren Ziel die qualitative Verdeutlichung aller wichtigen Richtungen ist. Deshalb ist die Karte als Ausgangsbasis für eine quantitative, statistische Behandlung nicht geeignet.

4. 3. Integration von Satellitenbild- und Geländeinformatio

Um Satellitenbild- und Geländeinformation miteinander in Beziehung zu setzen, wurde einerseits versucht, die Ergebnisse der statistischen Verteilungsanalyse zu dem im Gelände ermittelten Bauplan in Bezug zu setzen, andererseits die kartierten Großlineationen dem bekannten Großbau des Nordapennins und den bekannten Hauptstörungslinien zuzuordnen. Zum Dritten wurde angestrebt, im Bereich der Prato-Sillaro-Linie Gelände- und Satellitenbildinformation zu einer Aussage über das tektonische Erscheinungsbild dieser Struktur zu vereinen.

Amerikanische Autoren (GOLD et al. 1976, EGGENBERGER et al. 1976) haben, um Kluft- und Lineamentrichtungen zu vergleichen, den direkten Weg beschritten, d.h. die Richtungsverteilung beider Objekte direkt gegenübergestellt, wie im einleitenden

Teil bereits bemerkt (Kap. I.2.2.3). Diese Methode ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn hauptsächlich steilstehende Klüfte auftreten und wenn die Klüfte über weite Erstreckung gleiche Anordnung im Raum beibehalten. Bei dem komplizierten Kluftmuster, welches im Arbeitsgebiet zu beobachten war, bestand der einzig gangbare Weg darin, zu prüfen, ob sich die ermittelten Lineamentrichtungen der Achsengeometrie des Kluftgefüges zuordnen lassen. Im übrigen ist ohne weiteres evident, daß Lineamente der Größenordnung von km nicht so empfindlich bzw. überhaupt nicht auf lokale Änderungen der Spannungskonstellation reagieren wie Klüfte der Größenordnung von cm.

III. Ergebnisse

III. 1. Die Auswertung der Kluftdiagramme

Die Auswertung der Kluftdiagramme gliederte sich in zwei Arbeitsschritte:
- Ansprache und Interpretation der in den Diagrammen enthaltenen Kluftgefüge
- systematische Betrachtung der auftretenden Kluftverteilungen (mit dem Ziel einer genetischen Erklärung dieser Verteilungen)

Die Ergebnisse der Diagrammbearbeitung lassen sich in drei Punkten zusammenfassen:
1) In allen Meßbereichen mit Ausnahme von zweien sind deutlich zwei (oder mehr) Kluftsysteme ausgeprägt. Die b-Achsen der beiden Kluftsysteme streichen häufig unterschiedlich. Im Normalfall läßt sich eine b-Achse der Schichtung, die zweite dem generellen Faltenstreichen, eine eventuell vorhandene dritte einer Störung oder Lineation zuordnen.
2) An Meßpunkten, die nahe Störungen oder Störungszonen liegen, weicht die b_2-Achse häufig vom generellen Faltenstreichen ab.
3) Das Verhältnis der verschiedenen ausgebildeten Trennflächenscharen schwankt regional recht stark. Diese regionalen Unterschiede sind in erster Linie durch die strukturelle Position (bezüglich des Faltenbaus oder Störungen), sodann durch die großtektonische Stellung (z.B. Lage in verschiedenen tektonischen Einheiten oder Bereichen unterschiedlicher Formungsintensität) des betreffenden Gesteins bedingt. Demgegenüber tritt der Einfluß des Gesteinsmaterials zurück.
Punkt 3, die Trennflächenanalyse wird hier - entgegen dem Arbeitsablauf - vorgezogen, weil dabei der theoretische Aspekt überwiegt. Punkt 1 und 2 haben dagegen mehr regional-geologischen Bezug und werden im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Satellitenbildlineamentanalyse behandelt.
Im Diagrammanhang ist eine Anzahl von soweit als möglich zusammengefaßten Sammeldiagrammen der verschiedenen Meßbereiche beigegeben, auf welche im Textverlauf jeweils hingewiesen wird.

III. 1. 1. Die Trennflächenanalyse

Nach Indizierung der Gefügesysteme wurde versucht, systematische Unterschiede in der Verteilung der Kluftscharen zu ermitteln. Dabei wurden zum Einen die Winkel der Scherflächen betrachtet, zum Anderen das quantitative Verhältnis verschiedener Kluftscharen untereinander. Die als Anlage beigefügte Tabelle gibt die maximalen, prozentualen Besetzungsdichten der ausgebildeten Kluftscharen für jeden Meßbereich wieder. In die systematische Betrachtung ging jedes Diagramm (= 1oo Messungen im Durchschnitt) mit gleichem Gewicht ein. Dadurch wurde der unterschiedlich guten Dokumentation der Aufschlüsse (Belegung mit 1,2 oder mehr Meßpunkten) Rechnung getragen.
Theoretische und experimentelle Untersuchungen lehren, daß Unterschiede der Kluftausbildung bedingt sein können durch

- das Gesteinsmaterial
- die strukturelle Position des Meßpunktes (Faltenflanke, Faltenkern, Nähe zu Verschiebungen)
- die großtektonische Position des Meßpunktes (Lage im Gebirgsquerprofil, Zugehörigkeit zu verschiedenen tektonischen Einheiten) und damit verbundene regional unterschiedliche Stärke der erlittenen Beanspruchung

Zur Prüfung der ersten zwei Punkte wurde nur das südliche Profil herangezogen. Das nördliche Arbeitsgebiet ist aufgrund des möglichen Einflusses der Prato-Sillaro-Linie, sowie der häufig nicht klar definierten Stellung der Meßpunkte im Faltenbau nicht geeignet für eine Untersuchung dieser beiden Fragen.

In Anknüpfung an die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Ergebnisse erschiene es von Interesse, auf der Grundlage einer regional weniger ausgedehnten, dafür aber bezüglich der oben genannten Gesichtspunkte möglichst gleichmäßigen Datenerhebung den Einfluß der verschiedenen Faktoren mittels einer Faktorenanalyse zu erfassen.
Damit könnte theoretischen und experimentellen Untersuchungen die bislang kaum über das Studium der Kluftentstehung unter einfachen Randbedingungen hinaus gediehen sind, von der praktischen Seite her entgegengearbeitet werden, insbesondere was den Zusammenhang zwischen Faltung und Klüftung betrifft.

1. 1. 1. Materialbedingte Unterschiede der Klüftung

Aus felsmechanischen Experimenten und theoretischen Berechnungen ist bekannt, daß sich die Materialeigenschaften sowohl auf die Größe des Scherflächenwinkels als auch auf das zahlenmäßige Verhältnis zwischen Trenn- und Gleitscherbrüchen auswirken. In Tabelle 2 ist der durchschnittliche Winkel zwischen den hko-Flächen bzw. das Verhältnis von ac zu hko dargestellt für Massenkalke und gebankte Kalke, Hornsteinkalke und Sandsteine (bei den Sandsteinen wurden für die Berechnung des mittleren Winkels auch die Macignomeßpunkte des nördlichen Profils herangezogen). In die Berechnung des mittleren Scherwinkels gingen nur die Beträge von $2\alpha < 80^{o}$ ein, da für größere Winkel mit Sicherheit eine Überformung der ursprünglich angelegten Scherflächen anzunehmen ist.

Tab. 2

			2α hko		Variation 2α hko		ac/hko	
			b_1	b_2	b_1	b_2	b_1	b_2
Massenkalk			61^{o}	65^{o}	48–74	56–74	o,29	o,32
Sandstein			62	63	5o–78	5o–78	o,31	o,6
Hornsteinkalk			56	63	5o–76	56–7o	o,8	1,1
gebankter Kalk	W-Flanken	T	55	63	56–7o	6o–72	o,64	o,43
		U	63	63				
	E-Flanken	T	58	63	52–68	52–72	o,42	o,66
		U	6o	61				
	S-Profil gesamt		61	63	52–76	52–74	o,53	o,62

Für den von den hko-Flächen eingeschlossenen spitzen Winkel ist keine charakteristische Materialabhängigkeit festzustellen. Das bedeutet nicht, daß es solche Unterschiede nicht gibt. Sie sind nur durch regionale Unterschiede der Formungsintensität nach Stärke und Zeit unkenntlich geworden. Auch die Betrachtung der Schwankungsbreite des hko-Flächenwinkels zeigt

keine materialspezifischen Unterschiede. Daraus geht klar hervor, daß den geringfügigen Unterschieden des arithmetischen Mittels keine große Bedeutung beizumessen ist.
Für das Verhältnis ac/hko ist eine deutlich stärkere ac-Bruchbildung bei den stark verkieselten Diasprikalken gegenüber Sandsteinen, Massenkalken und gebankten Kalken festzustellen. Die Rolle der Formungsintensität wird durch die Zunahme der ac-Brüche im b_2-System verdeutlicht. Die zusammenfassende Darstellung der gebankten Kalke (letzte Zeile der Tabelle) erscheint wenig sinnvoll, wenn man die Differenzen ansieht, welche bei einer Aufgliederung der Werte für West- und Ostflanken der toskanischen bzw. umbrischen Sattelstrukturen auftreten. Diese durch die Stellung des Meßpunktes im Faltengefüge bedingten Unterschiede sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

1. 1. 2. Durch strukturelle Position bedingte Unterschiede der Klüftung

Die Unterschiede, die durch die jeweilige Lage des Meßpunktes in Bezug auf den Faltenbau bedingt sind, laufen teilweise parallel mit den materialspezifischen Differenzierungen. Die massigen Liaskalke sind nämlich an die Sattelkernzonen gebunden, die jüngeren, gebankten Serien dagegen an die äußeren Sattelbereiche. Dieses gleichsinnige Zusammenwirken mehrerer Faktoren betrifft insbesondere das Verhältnis ac/hko. Aus den Ausführungen des vorigen Kapitels geht aber bereits hervor, daß die Stellung im Faltenbau den Einfluß des Materials auf das Verhältnis ac/hko deutlich überwiegt.
Um die Abhängigkeit der Kluftausbildung von der strukturellen Position zu prüfen, wurden zunächst rein empirisch die Meßpunkte an den normal gelagerten Westflanken, an den steilstehenden bis überkippten oder spezialverfalteten Ostflanken und die Meßpunkte in den Kernen der großen Sattelstrukturen (s. Abb.11) zusammengefaßt und auf statistische Übereinstimmung des Gefügebildes getestet. Auf die Sattelscheitel mußte mangels Datenmasse verzichtet werden. Für den statistischen Vergleich des Gefüges verschiedener Meßpunkte wurde die Rangkorrelation nach SPEARMAN benutzt.

Grundlage für die Rangeinstufung sind die durchschnittlichen prozentualen Besetzungsdichten der einzelnen Kluftklassen ac, bc usw. in b_1- und b_2-Gefüge. Zur Einschätzung der Signifikanz der im Text angegebenen Korrelationskoeffizienten R (2 Vergleichsobjekte) bzw. W (> 2 Vergleichsreihen) sind in der folgenden kleinen Tabelle die Koeffizienten angegeben, welche 95% und 99% Signifikanz bedeuten:

	95%	99%
2 - 3 Vergleichsreihen	0,635	0,765
> 3 Vergleichsreihen	0,615	0,733

In Tab. 3 sind die durchschnittlichen prozentualen Besetzungsdichten der einzelnen Kluftmaxima sowie die Übereinstimmungskoeffizienten der fünf Hauptgefügetypen angegeben:

Tab. 3	b_1-Gefüge					b_2-Gefüge					
	ac	bc	hko	hol	okl	ac	bc	hko	hol	okl	W
Westflanke Toskana	6,1	3,0	9,5	1,7	3,5	3,6	3,0	9,3	2,2	1,9	0,73
Westflanke Umbrien	6,25	3,1	8,9	1,0	3,25	2,25	3,75	7,5	3,5	1,75	0,74
Kern	0,9	4,2	6,8	4,9	2,0	3,1	6,4	5,4	7,8	1,0	0,72
Ostflanke Toskana	4,6	4,1	10,9	1,8	1,1	7,1	3,2	7,1	1,5	2,9	0,73
Ostflanke Umbrien	5,5	2,75	6,4	1,4	2,25	4,2	0,9	8,7	-	4,8	0,80

Tabelle 4 gibt die Rangkorrelationskoeffizienten der Gefügetypen untereinander, wobei einmal b_1- und b_2-Gefüge zusammen betrachtet werden (oberhalb der Diagonale), zum Anderen getrennt dargestellt sind (unterhalb der Diagonale):

Tab. 4	Kern	Westflanke Toskana	Westflanke Umbrien	Ostflanke Toskana	Ostflanke Umbrien
Kern		-0,15	0,1	-0,08	-0,5
Westflanke Toskana	0 /0,05		0,86	0,77	0,72
Westflanke Umbrien	0 /0,3	1 /0,85		0,56	0,53
Ostflanke Toskana	0,3/-0,3	0,7/0,95	0,75/0,8		0,69
Ostflanke Umbrien	0 /-0,7	0 /0,65	0 /0,3	0,7/0,7	

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß strukturell bedingte Unterschiede schon im b_1-System ausgebildet sind, obwohl dieses System - wie bereits ausgeführt wurde (Kap. II.4.1) - vor der Hauptfaltung angelegt wurde. Bezeichnenderweise sind im b_1-System jedoch nur Kern und Flanken klar differenziert, während die einzelnen Flankentypen noch nicht charakteristisch unterschieden sind (mit Ausnahme von E- bzw. W-Flanke in Umbrien). In statistischer Sicht sind auch im b_2-Gefüge die Flankentypen regional nicht besonders unterschieden. Aufgrund mehrerer Besonderheiten, auf welche im folgenden Kapitel eingegangen wird, erscheint dennoch eine regionale Aufspaltung der Flankentypen gerechtfertigt.
Toskanische Ost- bzw. Westflanke wurden wegen der stark abweichenden okl_1- und ac_2-Bildung ausgehalten.
Als Grundzüge lassen sich aus Tabelle 3 bzw. Abb. 11 herauslesen: okl-Flächen konzentrieren sich an den Flankenzonen, während hol-Flächen die Kernzonen bevorzugen. ac sind ebenfalls hauptsächlich an die Flanken gebunden, im b_2-Gefüge speziell an die überkippten Bereiche. Überraschend ist die starke bc_2-Häufung in den Sattelkernen. Sie muß wohl im Zusammenhang mit der starken, faltungsparallelen Bruchtektonik gesehen werden, die diese Kernzonen überhaupt erst freilegte. Beispielhaft ist diese Erscheinung am Mte.Malbe und am Mte.Maggio in Umbrien ausgebildet. (s. Diagrammanhang). Zu erwähnen ist noch die vermehrte ac-Bildung an Stelle von hko in den überkippten Teilen, die nur teilweise auf Materialeigenschaften zurückgeführt werden kann (z.B. in den Diaspri-Kalken an der Mte.Cetona-E-Flanke).
Im nördlichen Profil ist die strukturelle Stellung der Meßpunkte nicht so klar definierbar wie im südlichen Arbeitsgebiet, da der Faltenbau gemäßigt und weitgespannt ist. Außer in den überkippten Serien (Monghidoro-Einheit, Futa-Schuppe, Marnoso-Arenacea im Frontbereich der Cervarola-Aufschiebung) herrscht flache Schichtlagerung vor. Bei einigen Einheiten des Nordprofils lassen sich dennoch Ähnlichkeiten mit der Grundgefügeprägung des südlichen Gebietes feststellen. Auf diese Parallelen wird beim Vergleich der Gefügeprägung von Nord- und Südprofil eingegangen (Kap. III.1.1.3.3)

1.1. 3. Durch großtektonische Stellung und Formungsintensität bedingte Unterschiede

3. 1. Südliches Profil

Bei der Untersuchung der Kluftgefüge in Hinsicht auf die Stellung der Meßpunkte im Faltenbau haben sich Unterschiede zwischen Serie Toscana und Serie Umbra herauskristallisiert, weniger in den Faltenkernen als vielmehr in Flankenzonen. Um diese Unterschiede besser zu veranschaulichen, wurde Tab. 3 in Abb. 11 in Histogrammform dargestellt.
Die regionalen Besonderheiten der Gefügeprägung seien im Folgenden kurz angeführt:

- in den Westflanken Umkehrung des Verhältnisses ac_2/bc_2 sowie stärkere hol_2-Klüftung in Umbrien
- bei den Ostflanken deutliche Divergenzen in hko_1-, ac_2-, bc_2-, hol_2- und okl_2-Ausprägung sowie in den Verhältnissen ac/bc und ac/hko in b_1- wie in b_2-Gefüge

Versucht man, regionale Trends der Kluftausprägung zu ermitteln, welche beiden Flankentypen (E- bzw. W-Flanke) gemeinsam sind, so zeigt sich ein charakteristischer Unterschied zwischen b_1- und b_2-Gefüge: Während im b_1-System mit kaum differenzierten Flankentypen die einzelnen Kluftklassen einheitlich entweder in der Toskana oder in Umbrien stärker vertreten sind, verlaufen im b_2-System bei zunehmender Flankendifferenzierung die Trends gegenläufig. Einzige Ausnahme bildet das beiden Flankentypen gemeinsame, stärkere Auftreten von ac_2 in der Toskana.
Eine zusammenfassende Betrachtung der Scherflächenwinkel in beiden Regionen (s. Tab. 5) zeigt, daß im b_1-System in der Toskana doppelt so viele hko spitzwinklig zu b angelegt sind wie in Umbrien, wo die hko-Klüfte häufig um die 90°-Stellung pendeln. Im b_2-System sind das gegensätzliche Verhältnis von hol in "Aufschiebungsstellung" (spitzwinklig a) zu hol in "Abschiebungsstellung" (spitzwinklig c) sowie die außergewöhnlich häufige okl-Anordnung spitzwinklig b in der Toskana zu erwähnen. Eine dritte, im südlichen Profil mit Messungen belegte tektonische Einheit repräsentiert die Pietraforte-Gruppe, deren großtektonische Zuordnung unsicher ist. Für einen fundierten Vergleich dieser Einheit mit den beiden anderen Großeinheiten liegen zuwenig Messungen

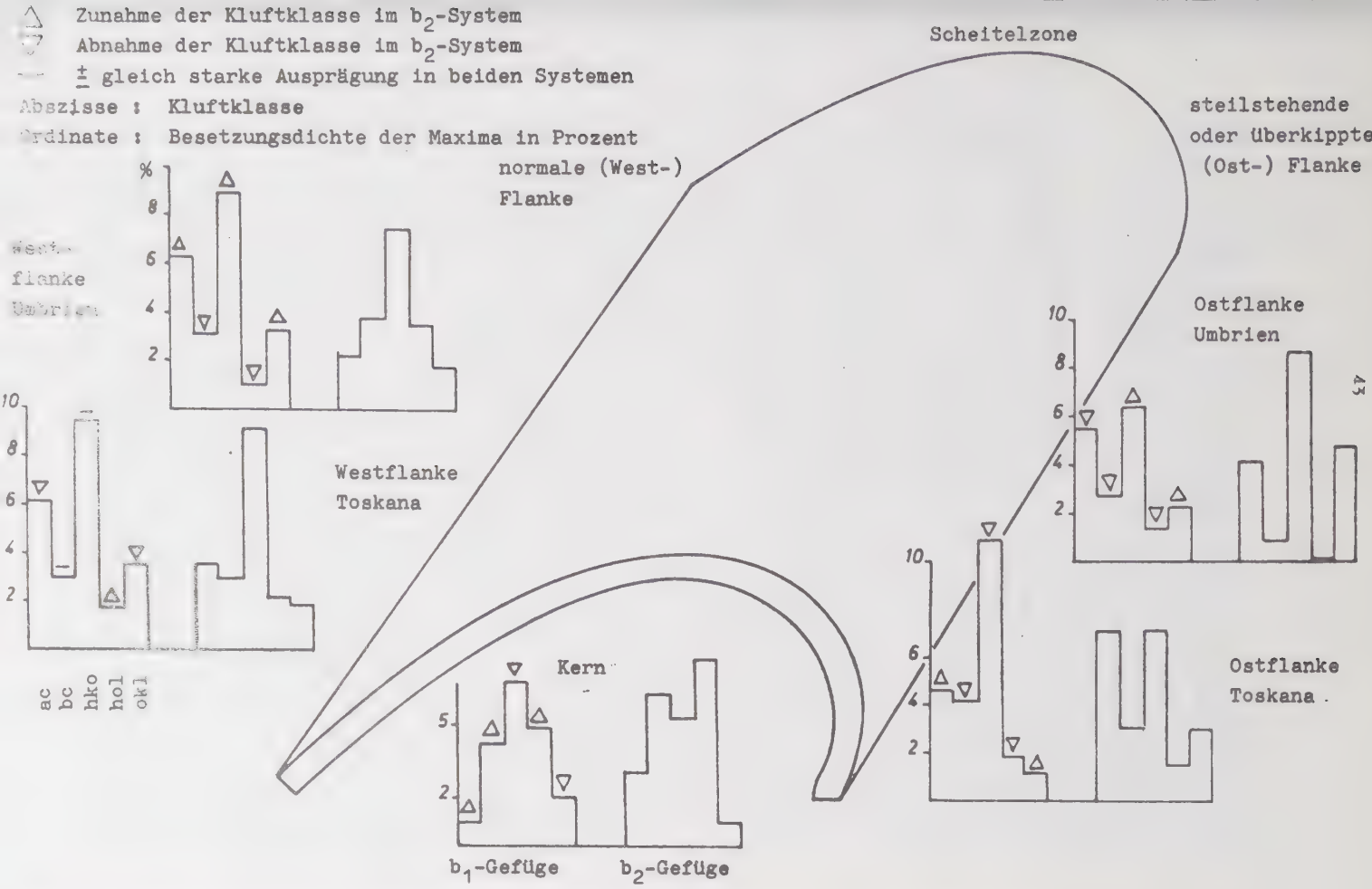


Abb. 11 Trennflächenausbildung im südlichen Profil, dargestellt an einer schematischen Falte

vor. Korreliert man jedoch beispielsweise den Meßpunkt Montebuono mit den benachbarten Meßpunkten der Serie Toscana (Castell'Azzara W), so ist kein signifikanter Unterschied der Kluftausbildung zu beobachten (R = 0,74). Für den Meßpunkt Trevinano-S.Casciano fehlt ein entsprechendes Vergleichsobjekt der Serie Toscana.
Die Dreieckspfeile in Abb. 11 symbolisieren die unterschiedliche Kluftausprägung in b_1- und b_2-Gefüge. Nach oben gerichtete Spitze bedeutet Zunahme der entsprechenden Kluftschar im b_2-Gefüge, nach unten weisende Spitze Abnahme. Ein bloßer Strich signalisiert ungefähr gleichstarke Ausbildung in beiden Systemen.
Aus dieser Darstellung ist leicht zu ersehen, daß die Unterschiede der Kluftausprägung in b_1- und b_2-Gefüge sowohl von der strukturellen Stellung wie auch von der regionalen Position abhängen. Eine allgemeine Tendenz, welche alle fünf Gefügetypen in gleicher Weise beträfe, besteht nicht.

3. 2. Nördliches Profil

Wie bereits aus dem einleitenden Kapitel hervorgeht, muß im nördlichen Arbeitsgebiet die Kluftanalyse unter anderen Gesichtspunkten erfolgen als im Süden, da im N der Baustil im wesentlichen durch große Überschiebungen und nicht durch einen starken Faltenbau wie in Umbrien geprägt ist. Der Faltenbau ist im N weitgespannt und weitgehend herrscht flaches Schichtfallen vor, mit Ausnahme der überkippten Serien im Frontbereich der Cervarola-Aufschiebung und der überkippten Monghidoro-Platte und Futa-Schuppe. Die systematische Betrachtung des Kluftgefüges im nördlichen Arbeitsgebiet umfaßte erstens den Vergleich der verschiedenen tektonischen Einheiten und berücksichtigte zweitens die Lage der Meßpunkte bezüglich der PSL.
In Abb. 12 sind die durchschnittlichen prozentualen Besetzungsdichten für Monghidoro-Einheit, Formazione Marnoso-Arenacea, Morello-Alberese, Cervarola-Sandstein und den Macigno am Südende bzw. in der nördlichen Fortsetzung des Mte.Albano aufgetragen. Die überkippten Serien des nördlichen Arbeitsgebietes lassen sich ungeachtet ihrer Zugehörigkeit zu verschiedenen tektonischen Einheiten (Monghidoro-Einheit, Futa-Schuppe, Formazione Marnoso-Arenacea) zu einem Gefügetyp zusammenfassen,

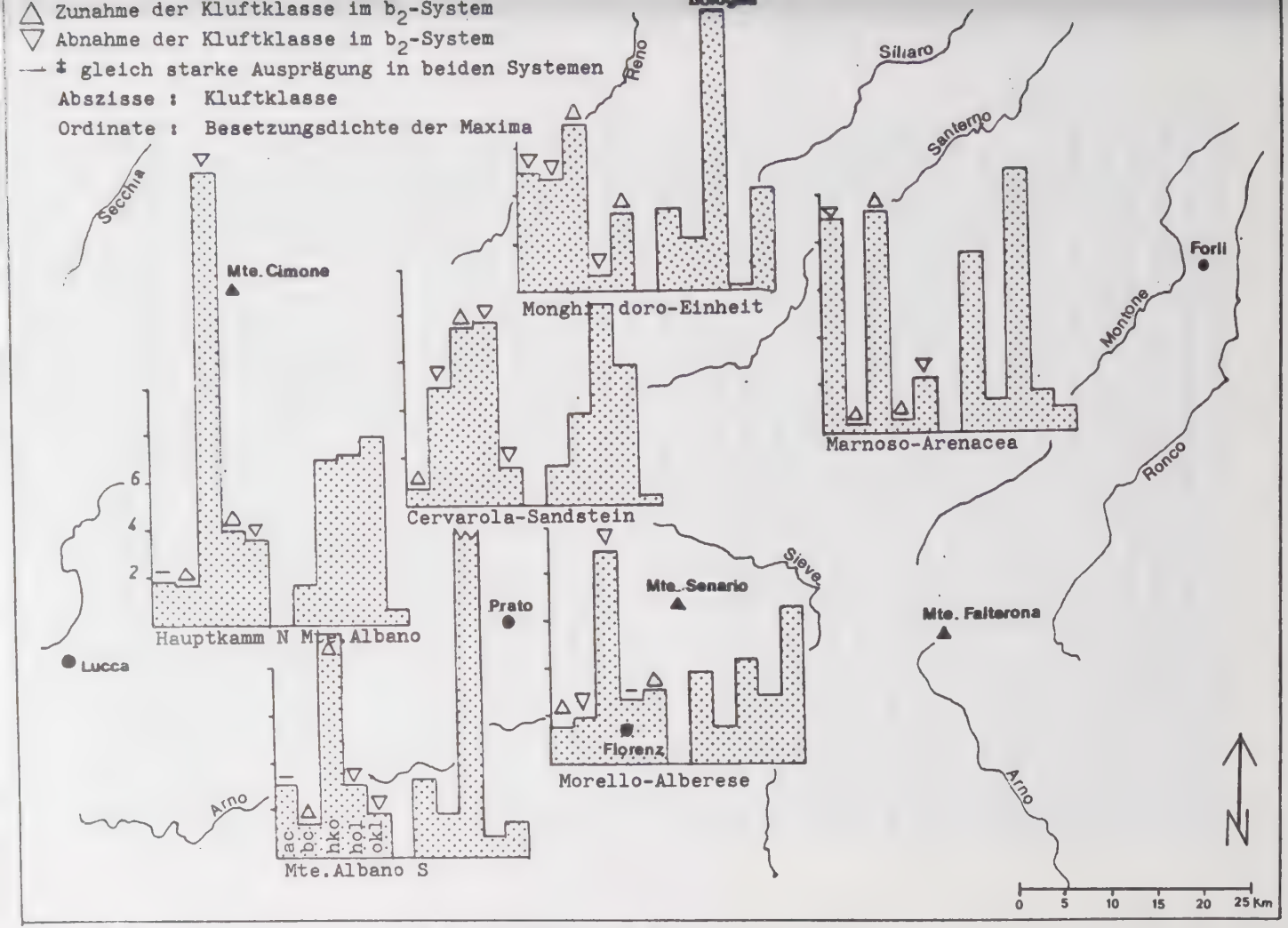


Abb. 12 Trennflächenausbildung in der Umgebung der Prato-Sillaro-Linie

welcher zu 99% signifikant korreliert (W = 0,77).
In ähnlicher Weise kann man die Meßpunkte im Cervarola-Sandstein, im Castiglione-Sandstein und im Suviana-Sandstein (im Folgenden als Cervarola-Sandstein s. l. zusammengefaßt) zu einem hochsignifikant korrelierenden Gefügetyp vereinigen (W = 0,96). Von diesem Gefügetyp unterscheidet sich der Morello-Alberese vor allem durch schwache hol_1- und hol_2- sowie starke okl_2-Bildung. Dagegen zeigen der mesozoische Aufschluß von Montecatini und der Hauptkamm-Macigno in der nördlichen Fortsetzung des Mte.Albano statistische Übereinstimmung mit der Gefügeprägung des Cervarola-Sandsteins s.l. Bezüglich der Unterschiede zwischen b_1- und b_2-System lassen sich aus Abb. 12 folgende Beobachtungen ableiten: In allen Bereichen in der weiteren Umgebung der Prato-Sillaro-Linie herrschen weitgehend einheitliche Entwicklungen vor. Besonders deutlich ist dies an hko-Zunahme und der hol-Abnahme vom b_1- zum b_2-System zu sehen. Zunahme von hko und Abnahme von hol ist auch in den Aufschlüssen am Südende des Mte.Albano zu sehen, die in der vermuteten Fortsetzung der PSL liegen, ebenso in den mesozoischen Aufschlüssen bei Montecatini und Monsummano T. Dagegen verläuft im Hauptkamm-Macigno in der nördlichen Fortsetzung des Mte.Albano die hko- und hol-Entwicklung genau gegenläufig.
Betrachtet man die Scherflächenwinkel (Tab. 5), so sind im b_1-Gefüge die hko-Klüfte mehrheitlich stumpfwinklig zu a ausgebildet, während sie im b_2-Gefüge zu meist mehr als 60% die a-Achse im spitzen Winkel einschließen; hol stehen im b_1-System zu 2/3 spitz zu c, im b_2-System zu 61% spitz zu a.

Analysiert man die Meßpunkte hinsichtlich ihrer Nähe zur Prato-Sillaro-Linie, so ist für die Meßstellen direkt an der PSL (Morello-Alberese, Bisano, Ca'Buraccia, Futa-Paß) trotz ihrer Zugehörigkeit zu verschiedenen tektonischen Einheiten noch statistische Übereinstimmung gegeben (W = 0,66). Diese Übereinstimmung dokumentiert sich auch in einem den Meßpunkten Bisano und Legri gemeinsamen b_3-Störungsgefüge (s. Diagrammanhang bzw. Abb. 23 b,c).
Die Aufschlüsse am Südende des Mte.Albano weichen lediglich durch ihre starke hol_1- und schwache hol_2-Bildung von diesem Gefügetyp ab.

Die Scherflächenwinkel sind an der PSL s.s. ähnlich wie an den Meßpunkten im weiteren Einzugsbereich der PSL angelegt. Eine Ausnahme stellt die Umkehrung des Verhältnisses zwischen auf- und abschiebenden hol_2 dar, welche wahrscheinlich durch starke Aufschiebungstätigkeit im Cervarola-Sandstein bedingt ist.

3. 3. Vergleich der Kluftausbildung im nördlichen und südlichen Arbeitsgebiet

Die folgende Tabelle zeigt die Anordnung der Scherflächen bezüglich der Gefügeachsen für die Toskana, Umbrien und die Lokalitäten in der weiteren Umgebung der PSL. Zu bemerken ist dabei vor allem die häufige hko_1-Stellung spitzwinklig b im Norden bzw. um 90° in Umbrien. Die Zunahme von Aufschiebungen während der Hauptfaltungsphase in den externen Gebirgszonen spiegelt sich wider durch eine entsprechende Zunahme von hol flach zur a-Achse im Norden (vor allem im Cervarola-Sandstein und in der Formazione Marnoso-Arenacea) und in Umbrien.

	b_1-Gefüge							b_2-Gefüge						
2∝	hko			hol		okl		hko			hol		okl	
spitzw.	a	~90	b	a	c	b	c	a	~90	b	a	c	b	c
Toskana	68%	4	28	41	59	28	72	52	26	22	44	56	44	56
Umbrien	40	43	17	45	55	30	70	69	21	10	66	44	9	91
PSL s.l.	34	18	48	31	69	24	76	63	10	27	62	38	20	80
PSL s.s.	39	11	50	24	76	27	73	61	29	10	41	59	8	92
Albano N	47	31	22	47	53	24	76	42	19	39	7	93	32	68
Albano S	16	26	58	(38	62	-	100	77	-	23	(-	100	38	62)

Tab.5 Scherflächenwinkel

Vergleicht man die Gefügetypen des Südprofils (Tab.3) statistisch mit den drei Hauptgefügen des nördlichen Bereiches (Tab.6), so ist jeweils signifikante Übereinstimmung zwischen Cervarola-Sandstein s.l., und Kern Süd, überkippten Serien im Norden und dem Typ Ostflanke Toskana sowie der normal gelagerten Formazione Marnoso-Arenacea im Norden und dem Typ West-

flanke Toskana zu konstatieren.

	ac	bc	hko	hol	okl	ac	bc	hko	hol	okl	
Cervarola-Sandstein	0,7	5,0	7,5	7,7	1,6	1,7	3,9	8,5	5,9	0,4	R Kern =0,75
Marnoso-Arenacea	9,0	0,25	9,75	0,5	2,25	7,5	1,5	11,0	1,75	1,0	R Westfl. =0,86
überkippte Schollen	2,8	4,5	9,3	1,3	2,0	4,1	2,9	12,9	0,3	2,1	R Ostfl. =0,92

Tab.6 Gefügetypen N-Profil

Abb. 14 stellt die verschiedenen Gefügetypen graphisch gegenüber, in Abb. 13 sind neben den einzelnen Kluftklassen die Verhältniszahlen ac/bc und ac/hko aufgetragen. Aus den beiden Abbildungen lassen sich als Hauptunterschiede der Kluftausbildung folgende Merkmale ableiten:

normale Flankenprägung (Westflanken im Südprofil, normal gelagerte Marnoso-Arenacea im Nordprofil): $ac_{1,2}$ sind im N deutlich stärker vertreten, bc dagegen schwächer; daraus resultiert ein beträchtlicher Unterschied beim Verhältnis ac/bc (s. Abb. 13). Die Beziehungen zwischen der Kluftausprägung in b_1- und b_2-Gefüge sind in beiden Gebieten gleich.

Kernprägung (Faltenkerne im S, Cervarola-Sandstein s.l. im N): Hervorzuheben ist vor allem die stärkere hol_1-Klüftung im N. Im b_2-Gefüge sind im Norden wesentlich mehr hko im Verhältnis zu ac ausgebildet. Bezüglich der Kluftbildung in b_1- und b_2-Gefüge gilt generell ac-Zu- und okl-Abnahme. Für die anderen Klassen bc, hko und hol verlaufen die Tendenzen gegenläufig.

"überkippte" Flankenprägung (Ostflanken im S, überkippte Serien im N): Besonders auffallend ist die ausgeprägte hko_2-Bildung im N; im b_2-System treten dementsprechend ac gegenüber hko in den Hintergrund, ähnlich wie in Umbrien, während in der Toskana ac und hko sich die Waage halten.

△ Zunahme der Kluftklasse im b_2-System

▽ Abnahme der Kluftklasse im b_2-System

— ± gleich starke Ausprägung

durchgezogene Linien und ausgefüllte Dreieckspfeile : Südprofil

gestrichelte Linien und leere Dreieckspfeile : Nordprofil

Abszisse : Kluftklasse

Ordinate : Besetzungsdichte der Maxima in Prozent

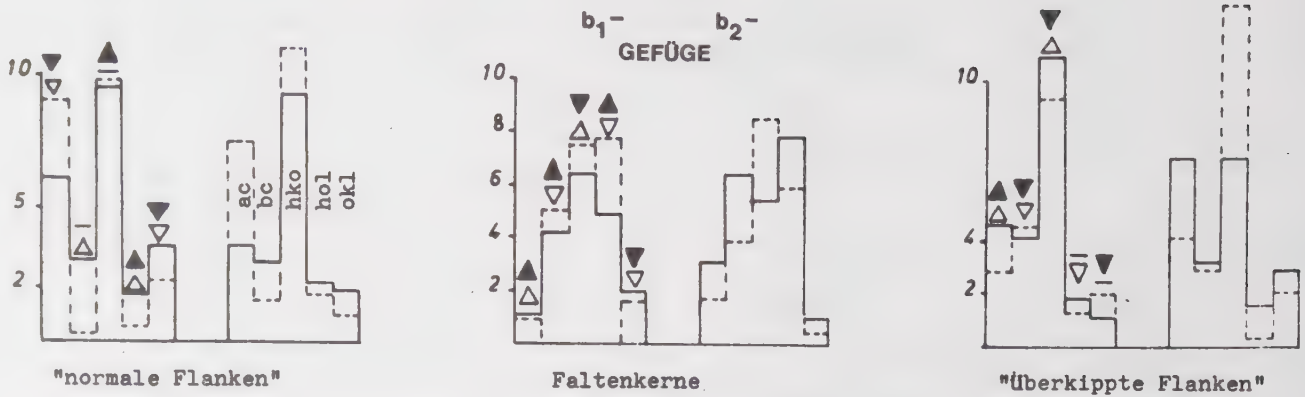


Abb.13 Vergleich der Trennflächenausbildung in N- und S-Profil

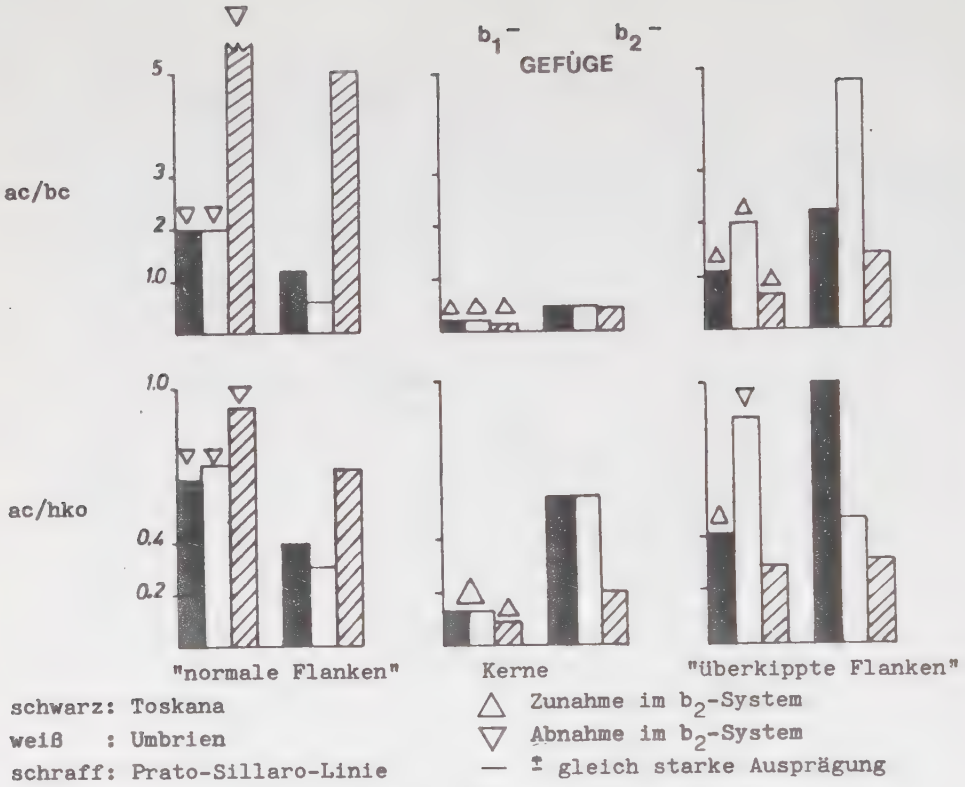


Abb.14 Verhältnis ac/bc bzw. ac/hko in der Toskana,Umbrien und der weiteren Umgebung der Prato-Sillaro-Linie

1. 1. 4. Zur genetischen Interpretation von Kluftgefügen

Als Endziel einer vergleichenden Betrachtung des Kluftgefüges wäre anzusehen eine kausale Zuordnung der Unterschiede im Gefüge zu jeweils unterschiedlichen Formungsbedingungen. Derartige Aussagen erscheinen jedoch beim gegenwärtigen Kenntnisstand allein auf der Grundlage von Kluftdaten spekulativ. Denn zum ersten besteht noch immer keine allgemein gültige Theorie zur Kluftentstehung. Experimentell wurden die Bedingungen der Kluftentstehung bisher nur für einfache Randbedingungen ermittelt, während über Anlage und mechanisches Verhalten von Klüften in verfalteten Bereichen keine Untersuchungen vorliegen. Entsprechendes natürliches Beobachtungsmaterial, mit welchem man dieses Problem von der empirischen

Seite her angehen könnte, wurde bislang nur im Ruhrkarbon gesammelt und ausgewertet. Einen vielversprechenden theoretischen Lösungsweg bietet die Finite-Element-Methode (BOCK 1972).

Wie vorsichtig man bei einer genetischen Interpretation von Kluftgefügen zu Werke gehen muß, sei am Beispiel der Beziehung zwischen ac- und hko-Klüftung dargelegt: Während ADLER aufgrund seiner Erfahrungen im Ruhrkarbon ac-Bildung als Ausdruck erhöhter Formungsintensität d.h. schnellerer Deformationsgeschwindigkeit bei einem Spannungsansatz σ_1 //a > σ_2 //b > σ_3 //c interpretiert, konnte BOCK experimentell nachweisen, daß bei Druckerhöhung //a und einem Spannungsansatz von σ_1 //c > σ_2 //a > σ_3 //b hko anstelle von ac angelegt werden.

BOCK's Spannungsansatz dürfte für das im Frühstadium der Sedimentation angelegte b_1-System zutreffen, während der Ansatz mit horizontal gerichteter größter Hauptnormalspannung bei der Anlage des faltungsbezogenen b_2-Systems verwirklicht war. Das bedeutet, daß das Vorhandensein von ac-Klüftung bzw. das Verhältnis von ac/hko in b_1- und b_2-Gefüge u.U. genetisch unterschiedlich zu interpretieren ist. Freilich ist dabei zu berücksichtigen, daß das ursprüngliche b_1-Gefüge durch die erste Hauptgebirgsbildungsphase überprägt worden ist.

Relativ sichere Aussagen über die Beanspruchungsgeschichte ermöglicht der Winkel, den die Scherflächen einnehmen, was im Folgenden an einigen Beispielen dargestellt werden soll. Nach den Gesetzen der Felsmechanik halbiert die Richtung der größten Hauptnormalspannung den spitzen Winkel der Scherflächen. Tabelle gibt an die prozentuale Verteilung der Scherflächenwinkel für das südliche Arbeitsgebiet:

	hko			hol		okl		hko			hol		okl	
2α	$\sphericalangle$ a	90	$\sphericalangle$ b	$\sphericalangle$ a	$\sphericalangle$ c	$\sphericalangle$ b	$\sphericalangle$ c	$\sphericalangle$ a	90	$\sphericalangle$ b	$\sphericalangle$ a	$\sphericalangle$ c	$\sphericalangle$ b	$\sphericalangle$ c
Toskana	59	8	33	36	64	28	72	53	27	20	44	56	50	50
Umbrien	40	43	17	45	55	30	70	69	21	10	66	34	9	91

Es zeigt sich, daß durchschnittlich 20% der hko-Klüfte nicht die a-Achse (∥größter Hauptnormalspannung) im spitzen Winkel haben, sondern die b-Achse und weitere 25% um die Mittelstellung pendeln.

Zwei Mechanismen sind denkbar, um diese Klüfte zu erklären: lokale b⊥b-Tektonik bzw. genauer ausgedrückt Umkehr der Hauptnormalspannungsrichtung , wie sie z.B. bei Entlastung //a auftritt (BOCK 1975), oder Plättung (Internrotation) der ursprünglich spitzwinklig zu a angelegten Flächen, welche auf andauernde Beanspruchung oder spätere Überformung //a hinweist (ADLER 1973). Bei Beobachtung ausgesprochener hko-Gürtel (Selvena E), 80 - 90°-Winkel der Flächen (Lacugnano b 1) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Plättung anzunehmen. Bei Auftreten scharf getrennter hko-Maxima spitzwinklig a und b am gleichen Meßpunkt (S.Casciano N, Lacugnano b 2) erscheint auch eine lokale Umkehr der Hauptnormalspannung denkbar. Die folgenden Diagramme geben Beispiele für die einzelnen Fälle.

Für die Entstehung von hol-Klüften sind grundsätzlich zwei Spannungsansätze möglich, die unterschiedliche Flächenstellung bewirken: $\sigma_1//a \geq \sigma_2//b \geq \sigma_3//c$ hol spitzwinklig a ("Aufschiebungen")

$\sigma_1//c \geq \sigma_2//b \geq \sigma_3//a$ hol spitzwinklig c ("Abschiebungen")

Im Durchschnitt stehen 55% der hol steil zu c, auffälligerweise ist auch in großen Aufschiebungszonen (Mte.Cetona Punkte S 15, 16, 17, Cervarola-Überschiebung N 10,15) (s.auch PASSERINI 1972) die Mehrzahl oder sogar fast alle hol-Klüfte steil zu c angeordnet. Man muß daraus folgern, daß sicherlich nicht alle steil zu c stehenden hol als echte "Abschiebungen" angelegt sind. Vielmehr wird es sich dabei teilweise um Sekundärflächen zu Aufschiebungen handeln.

Auch auffällig starke bc-Maxima können zumindest teilweise in diesem Sinne gedeutet werden, so z.B. an Meßpunkt N 10, wo bc sehr stark ausgebildet sind. hol fehlen dagegen nahezu völlig, was bei der Nähe der Cervarola-Überschiebung unverständlich wäre.
Allgemein steht also verstärkte hol-Klüftung wie am Mte. Cetona oder im Cervarola-Sandstein (besonders Lokalität N 15) durchaus in Einklang mit ausgeprägter Aufschiebungstätigkeit. okl-Klüfte werden im allgemeinen als Dehnungsstrukturen entsprechend einem Spannungsansatz $\sigma_1//c \geq \sigma_2//a \geq \sigma_3//b$ angesehen. 29%, im b_2-Gefüge der Toskana sogar 50% der okl-Klüfte schließen jedoch b im spitzen Winkel ein, was einen solchen

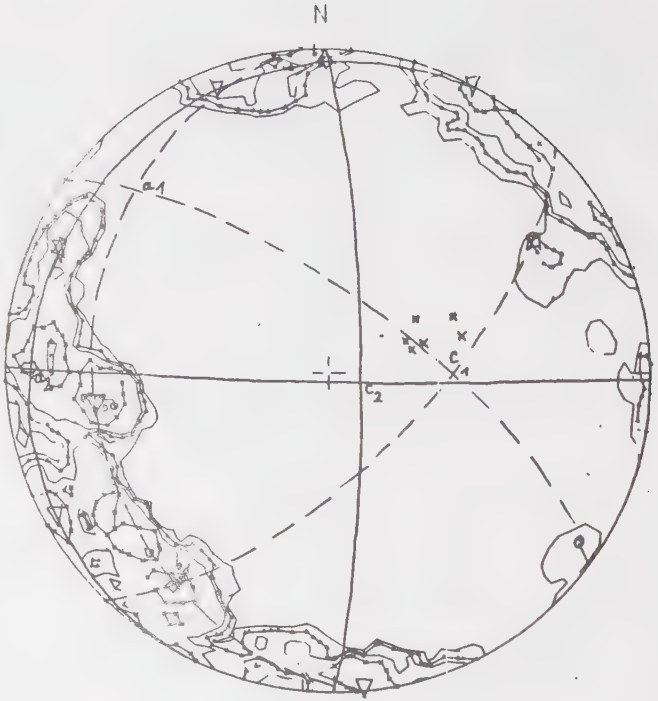


Diagramm S 19,1 Lacugnano

Diagramm S 1o Selvena E

Spannungsansatz ausschließt. Sind okl spitzwinklig b mit dem Auftreten von hko spitzwinklig b verknüpft, so kann das hinweisen auf eine echte Quertektonik (häufig in überkippten oder spezialverfalteten Bereichen, z.B. Punkte S 6, S 12, S 16, S 26, N 10).

1. 2. Die Anordnung der b-Achsen

2. 1. Richtungsdifferenzen zwischen b_1- und b_2-Achse

Tabelle 8 gibt die räumliche Lage von b_1- und b_2-Achse an sowie die Differenz im Achsenstreichen für die einzelnen Meßpunkte. Die b_1-Achse ist bei stärkerem Schichtfallen nach den in Kap. II.4.1 beschriebenen Verfahren rückrotiert. Außerdem ist die stratigraphische Position angegeben.

Südprofil		b_1	b_2	Differenz	
1 Mte.Argentario		3/ 2	170/33	+13	Rätkalk
2 Mti.dell'Uccellina		176/ 8	166/ 4	+10	Calc.Massiccio
3 Stazione Alberese		178/ 3	168/18	+10	Calc.Massiccio
4 Impostino		180/ 8	353/24	+ 7	Macigno
Straße Magliano–Scansano	1	350/ 4	345/ 0	+ 5	Macigno
	2	183/ 0	155/ 6	+28	Macigno
5 Scansano		175/ 0	149/23	+26	Scisti Policromi
6 Poggio il Sasso		172/ 3	158/ 0	+14	Calc.Mass./Diaspri
7 Catabbio		344/ 0	325/26	+19	Scisti Policromi
8 Montebuono		175/ 0	158/10	+17	Pietraforte
9 Straße Sorano-Selvena		353/12	317/14	+36	Calc.Selcifero
10 Selvena E		165/ 2	312/ 3	+33	Diaspri
11 Castell'Azzara		160/ 5	136/ 6	+24	Scisti Policromi
12 Montevitozzo		356/12	335/ 3	+21	Scisti Policromi
13 Mte.Rufeno		166/16	131/10	+35	Pietraforte
14 Straße Trevinano–S.Casciano		201/ 6	177/15	+24	Pietraforte
15 S.Casciano N		15/ 0	181/10	+16	Calc.Massiccio
16 Mte.Cetona E	1	82/ 5	34/18	+48	Calc.Selcifero
	2	79/ 0	30/ 2	+49	Diaspri
17 Sarteano		200/15	5/ 6	+15	Rätkalk

18	Tavernelle		-	347/ 0	-	
	S.Arcangelo		180/10	342/ 0	+18	Scaglia Rossa
	Mugnano		172/ 2	155/20	+17	
19	Lacugnano		41/ 0	2/ 5	+39	"
20	Città della Domenica		42/ 0	18/ 2	+24	Rätkalk
21	Conca del Sole		34/ 0	174/10	+40	Scaglia Rossa
22	Gualdo Tadino E		41/ 0	176/ 0	+45	Calc.Massiccio
23	Gualdo Tadino N		31/ 6	171/ 2	+40	Scaglia Rossa
24	Col di Fossato		149/ 0	134/ 6	+15	
25	Mte.Maggio	1	185/ 0	168/ 4	+17	Maiolica
		2	20/ 2	350/24	+30	Calc.Massiccio
26	Mte.Nero		236/ 9	354/ 0	+62	Scaglia Rossa
27	Mte.Rogedano		154/17	151/11	+11	
28	Campodiegoli		28/20	184/ 0	+24	
29	Colle Paganello		350/ 0	336/16	+14	Scaglia Rossa
30	Straße Collamato-Esanatoglia		46/ 0	178/ 0	+48	
31	Poggio S.Romualdo		22/10	176/ 6	+25	Maiolica/
32	Straße Pian d'Elmo-Frontale	1	44/ 6	177/20	+47	Scaglia Rossa
33		2	220/15	178/ 0	+42	
34	Str. Val Treara-Castelletta		35/15	178/ 0	+37	Maiolica
35	Gola della Rossa		40/ 0	10/ 0	+30	Calc.Massiccio
36	Mte.Conero		35/10	7/ 0	+28	Scaglia Rossa

Nordprofil

1	Straße Monzuno-Loiano	120/10	137/ 6	-17	Monghidoro-Einheit
2	Str. Trasasso-Zaccanesca	118/ 4	137/ 8	-19	
3	Pietramala	152/ 7	165/ 0	-13	Sasso di Castro-Komplex
4	Sasso di Castro N	308/ 8	332/ 0	-24	
5	" S	308/ 8	342/ 0	-34	
6	Bisano (Val d'Idice)	116/ 0	80/ 0	+36	Monghidoro-Einh.
7	Peglio-Ca'Buraccia	311/ 8	108/27	+23	Formazione Marnoso-Arenacea
8	Valle Santerno	147/10	116/ 4	+31	
9	Passo Giogo	146/ 0	-	-	

10	**Barco-Rifredo**	210/ 0	160/ 9	+50	F.Marn.-Arenacea
11	**Poggio Stancalasino**	290/ 4	290/ 5	± 0	
12	**Bruscoli**	104/ 0	95/ 0	+ 9	Suviana-Sdst.
13	**Str. Castiglione Pep.-Montepiano**	278/ 2	284/ 6	- 6	Castiglione-Sandstein
14	**Mte.Tavianella**	261/ 6	89/ 3	- 8	Castiglione-Sandstein
15	**S.Giacomo**	253/ 0	76/ 0	- 3	Castiglione-Sandstein
16	**Montepiano**	78/ 5	78/20	± 0	Cervarola-Sandstein
17	**Str. Montepiano-Barberino**	100/14	83/10	+17	Cervarola-Sandstein
18	**Str. Montepiano-Vernio**	273/ 4	269/16	+ 4	Cervarola-Sandstein
19	**Abzweigung Migliana**	287/14	286/ 6	+ 1	Cervarola-Sandstein
20	**La Selva**	102/16	70/14	+32	Morello-Alberese
21	**Abzweigung Legri**	115/ 4	80/12	+35	Morello-Alberese
22	**La Querce**	104/ 0	252/12	+34	Morello-Alberese
23	**Filettole**	96/ 0	250/ 0	+26	Morello-Alberese
24	**Porto di Mezzo**	107/ 2	113/ 2	- 6	Mte.Albano S Hauptkamm-Macigno
25	**Stazione Carmignano**	108/ 3	118/ 2	-10	Mte.Albano S Hauptkamm-Macigno
26	**S.Miniatello**	275/ 5	109/10	-12	Mte.Albano S Hauptkamm-Macigno
27	**Montevettolini**	137/ 5	135/10	+ 2	Hauptkamm-Macigno N Mte.Albano
28	**Celle**	?	348/ 8	-	Hauptkamm-Macigno N Mte.Albano
29	**Momigno**	332/ 4	350/ 2	-18	Hauptkamm-Macigno N Mte.Albano
30	**Val di Nievole**	346/ 0	3/ 2	-16	Hauptkamm-Macigno N Mte.Albano
31	**Montecatini**	160/ 0	138/ 2	+22	Mesozoikum Albano N
32	**Monsummano E**	140/ 3	301/ 0	+19	Mesozoikum Albano N
33	**Monsummano T**	160/ 0	142/ 8	+18	Mesozoikum Albano N
34	**Serravalle Pistoiese**	165/ 4	139/ 0	+26	Alberese

In Abbildung 16a sind die b-Achsenrichtungen graphisch dargestellt in ihrer regionalen Verteilung. Abb 16b gibt einen schematisierten Überblick über die Winkeldifferenzen zwischen b_1 und b_2. Aus Tab. 8 und Abb. 16 geht hervor, daß an der weitaus überwiegenden Zahl der Meßpunkte Differenzen zwischen b_1- und b_2-Streichen existieren. Im südlichen Arbeitsgebiet betragen die Differenzen im Durchschnitt zwischen +15 und +30° (positive Vorzeichen für b_1 im Uhrzeigersinn gegen b_2 gedreht). Daneben treten selten sehr niedrige Werte auf (+10°) und häufiger ziemlich hohe Werte zwischen +40° und +60°. Diese Abweichungen

Abb. 16a Kluftsystemachsen im nördlichen Apennin

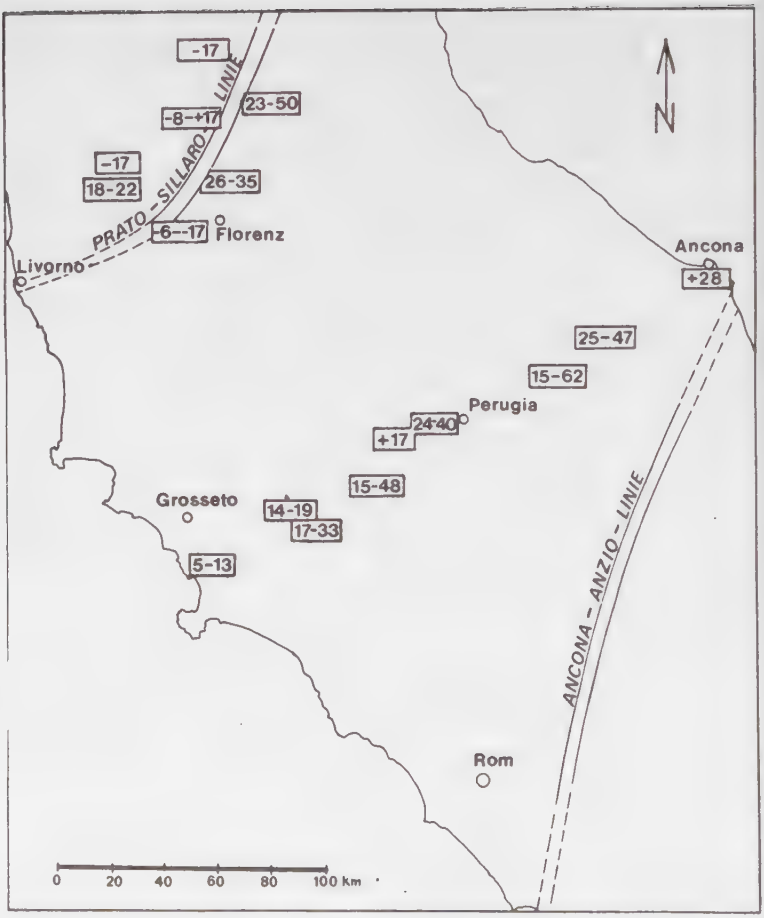


Abb. 16b
Winkeldifferenzen zwischen b_1- und b_2-Achse

sind zum Teil durch die strukturelle Position der betreffenden Meßpunkte zu erklären. Die niedrigen Werte sind nur in Sattelkernen und damit im stratigraphisch Älteren anzutreffen, die hohen Werte nur in den äußeren Zonen der Falten (d.h. außerhalb der "neutralen" Zone) und damit in jüngeren Serien. Dehnung im äußeren Faltenbereich bzw. Kompression im Kern führt zu der in Kapitel II.4.1 beschriebenen Vergrößerung bzw. Verkleinerung der ursprünglichen Differenz im Streichen (etwa 15 - 30°), wie sie bei einer Faltung nach dem reinen flexural-slip-Modell zu beobachten ist.(Abb. 17). Diese Erklärung dürfte vor allem für die Meßpunkte 19, 21 und 23 zutreffen, welche an der Westflanke von Mte.Malbe bzw. Mte.Maggio liegen.

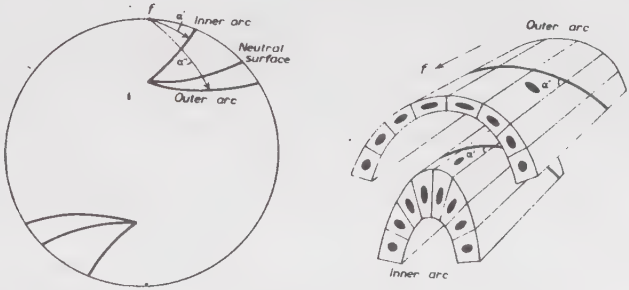


Abb.17 Vergrößerung des ursprünglichen Differenzwinkels zwischen b_1 und b_2 durch Dehnung in den Flanken (n. RAMSAY 1966)

Eine zweite Deutungsmöglichkeit rückt die Konzentration der hohen Werte auf die Meßstellen S 16 und N 10 ins Blickfeld, welche beide im Nahbereich großer Aufschiebungen liegen: S 16 direkt östlich der Mte.Cetona-Aufschiebung, N 10 nördlich der Cervarola-Aufschiebung. Es ist anzunehmen, daß diese Aufschiebungen zu einer stärkeren Verstellung der b_1-Achse als in anderen Gebieten führten, wie es aus der Achsenkarte ganz deutlich hervorgeht (s.a. Abb. 7 und 18). Darauf weist die Tatsache hin, daß auch die b_2-Achse in beiden Bereichen deutlich verstellt ist. Um die höhere Differenz der Achsen zu erklären, muß man voraussetzen, daß die Aufschiebungen bereits vor der Hauptfaltungsphase und dar-

vor Anlage des b_2-Systems wirksam waren.
Es wäre also verfehlt, aus den im Durchschnitt höheren Differenzbeträgen in den jüngeren Serien (Kreide-Alttertiär) auf einen entsprechenden Trend zur Zunahme der Achsendifferenz mit abnehmendem Gesteinsalter zu schließen. Ein regionaler Trend - Zunahme der Differenz von W nach E - kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Nur in den Mti.dell' Uccellina könnte die Achsendifferenz von 10° tatsächlich dem ursprünglichen Wert entsprechen (s. Kap. III.4).
Die getrennte Betrachtung der drei verschiedenen tektonischen Einheiten, innerhalb derer Messungen durchgeführt wurden, liefert ebenfalls keine spezifischen Unterschiede der Achsendifferenzen in den verschiedenen Einheiten (Serie Toscana, Serie Umbra, Pietraforte-Gruppe).
Im nördlichen Arbeitsgebiet zeigen die Achsendifferenzen kein ähnlich einheitliches Bild wie im Süden. Dafür können zwei Gründe angeführt werden: Erstens sind die Meßpunkte auf mehr, zum Teil sicher allochthone Komplexe verteilt (gegenseitige Bewegungen der einzelnen Komplexe können dabei zu einem uneinheitlichen Erscheinungsbild der Achsendifferenzen führen), zweitens wird das Gefüge gemäß der unterschiedlichen Entfernung der Meßpunkte zur Prato-Sillaro-Linie beeinflußt (Horizontalbewegungen an der Prato-Sillaro-Linie zwischen der Anlage von b_1- und b_2-System können unterschiedliche Differenzbeträge bewirken). Im einzelnen sind folgende Winkeldifferenzen zu beobachten:

- in der Formazione Marnoso Arenacea (Serie Umbra, SE PSL) +30°, was etwa den im Süden ermittelten Werten der Serie Umbra entspricht. Der Wert von +50° (Lokalität Barco-Rifredo) liegt im Einzugsbereich der bedeutenden Mte.Falterona-Überschiebung.
- im Cervarola-Sandstein (Emilianiden 1, NW PSL) keine signifikante Achsendifferenz mit Ausnahme des Meßpunktes an der Straße Montepiano-Barberino, welcher der Prato-Sillaro-Linie am nächsten liegt.
- im Mesozoikum der Serie Toscana +20°, was wiederum den im Süden beobachteten Werten entspricht (NW PSL)
- im Macigno-Flysch der Serie Toscana ±0 bis -15° (Meßpunkte im NW der PSL und in der streichenden südlichen Fortsetzung der PSL)

- im Mte.Morello-Alberese $+35^{o}$, wobei zu bedenken ist, daß alle Meßpunkte unmittelbar an der Prato-Sillaro-Linie liegen und außerdem der Morello-Alberese mit Sicherheit allochthon ist.
- in der Cantiere-Monghidoro-Einheit -18^{o}

Die Meßpunkte Poggio Stancalasino und Pietramala repräsentieren kleinere allochthone Schuppen und werden aufgrund ihrer geringen Aussagekraft aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

1. 2. 2. Die Entstehung der Achsendifferenzen

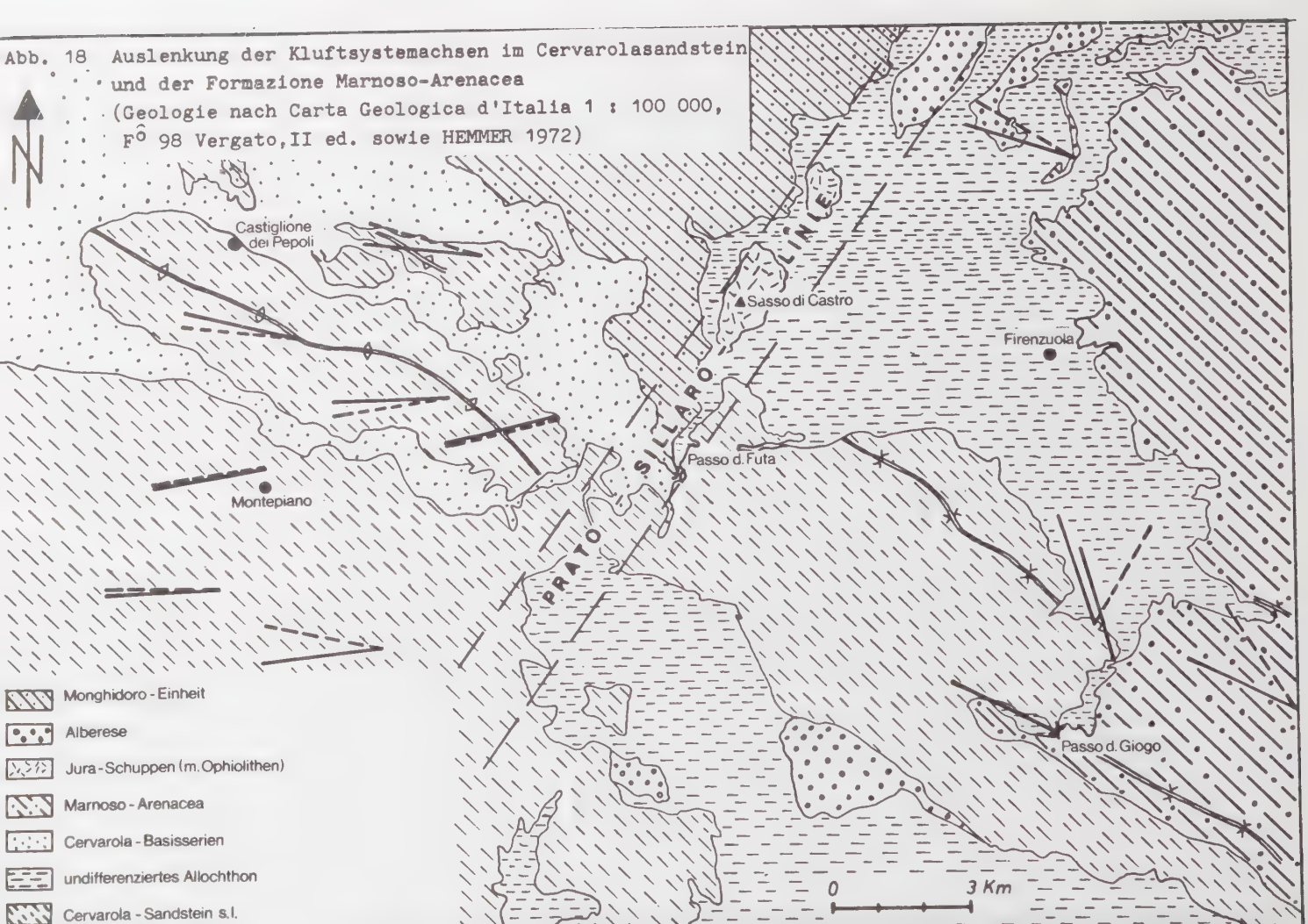
Die Existenz zweier klar aushaltbarer Gefügesysteme mit unterschiedlicher b-Achsenanordnung legt die Annahme zweier Formungsphasen, welche die beiden Systeme erzeugt haben, zwingend nahe. Zu prüfen ist die Frage, ob diese zwei Formungsphasen einer einzigen Gebirgsbildungsphase zuzuordnen sind, wie es im Ruhrkarbon der Fall ist, wo sich b_1- und b_2-System einer einzigen, nämlich der asturischen Faltung zuordnen lassen, oder ob die beiden kluftbildenden Phasen zwei verschiedenen gebirgsbildenden Phasen angehören. Die durchaus ähnliche Kluftausbildung der beiden Gefüge, insbesondere die bereits im b_1-System anzutreffende bc- und hol-Tektonik spricht für die letzte Annahme.
Grundsätzlich kann die Differenz von b_1- und b_2-Richtung durch zwei Mechanismen erklärt werden (s. Diskussion bei BODECHTEL & NITHACK 1974): Entweder hat im Zeitraum zwischen der Anlage der beiden Systeme eine Drehung des Stressfeldes stattgefunden oder eine Drehung des beanspruchten Bereiches bei konstantem Stressfeld. In der Natur sind beide Vorgänge beobachtet: Eine Drehung des Stressfeldes beim Rheingraben, der als Dehnungsstruktur angelegt wurde und heute bei einer um 60^{o} rotierten Beanspruchungsrichtung als sinistrale Blattverschiebung wirkt (ILLIES 1975), eine Drehung von Krustenblöcken wird dagegen aufgrund paläomagnetischer Messungen im gesamten Mittelmeerraum gefordert (ALVAREZ & LOWRIE 1975, CHANNELL & TARLING 1975).
BODECHTEL & NITHACK (1974 S.21) plädieren für eine Rotation des Gebietes Toskana-Umbrien bei konstantem Stressfeld. Ausschlaggebend für ihre Annahme sind in erster Linie einige

regional-geologische Aspekte wie die Überschiebung des umbrischen Apennins auf die Abruzzen und die Abnahme der Überschiebungsweite von N nach S. Beide Erscheinungen lassen sich sehr gut mit der geforderten Rotation in Einklang bringen (s.a. Abb. 1).
Generell wird dieses Modell durch die Ergebnisse der Diagrammanalysen vor allem des südlichen Arbeitsgebietes unterstützt. Es bleibt aber zu fragen, ob es sich bei dieser Bewegung um eine echte Rotation einer sogenannten Mikroplatte handelt oder nur um ein relativ oberflächennahes Phänomen. Auf diese Frage wird später noch eingegangen werden (Kap. III.4).
Für die relative Zeiteinstufung der Gefügeprägungen folgt aus den Erwägungen in Kap. II.4.1, daß das ss-bezogene b_1-System vor dem faltungsbezogenen b_2-System angelegt wurde. Hinsichtlich der absoluten zeitlichen Einstufung ist festzuhalten: Es ist bekannt, daß Klüfte bereits im Frühstadium der Sedimentation gebildet werden. Ein generell richtungskonstantes b_1-System ist durch die Diagramminterpretation vom Rät (Strati ad Avicula contorta) bis mindestens zum Eozän (Scaglia Rossa) nachgewiesen. Die wenigen Messungen im oligozänen Macigno der südlichen Toskana erlauben keine eindeutige Interpretation, die Achsendifferenzen in der Formazione Marnoso-Arenacea (unt. Miozän) südlich der PSL lassen aber Richtungskonstanz auch noch während des ganzen Oligozäns und unteren Miozäns vermuten. Man kann also schließen, daß die im b_1-System verwirklichte Spannungskonstellation vom Rät bis zum unteren Miozän konstant war. Zu seiner heutigen Erscheinungsform, insbesondere was die hol- und bc-Tektonik betrifft, wurde das b_1-Gefüge während der ersten apenninen Hauptgebirgsbildungsphase im Aquitan (BALDACCI et al. 1966) ausgebildet. Die im b_2-System anzutreffende, andersgerichtete Spannungskonstellation war spätestens zu Beginn der zweiten und stärksten Gebirgsbildungsphase im Torton wirksam. Dies geht aus zwei Tatsachen hervor: Erstens ist nicht nur das b_1-Gefüge, sondern auch das b_2-Gefüge offenbar stark externrotiert, wie sich aus der meist geringen Differenz des Einfallens von c_1- und c_2-Achse ablesen läßt (s. Kap. II.4.1). Zweitens erscheint an Störungen, die während der Hauptformungsphase aktiv waren - wie z.B. der PSL - die b_2-Achse stärker geschleppt als die Faltenachse (s. folgendes Kap. Abb. 18).

1. 2. 3. Abweichungen der b_2-Achse vom generellen Faltenstreichen

Die Abweichungen der b_2-Achse vom generellen Faltenstreichen im Einzugsbereich von Störungen können als Schleppungen an den betreffenden Störungen angesehen werden. Die Abweichungen können mit einer Auslenkung des Faltenstreichens Hand in Hand gehen, wie im Cervarola-Sandstein an der Prato-Sillaro-Linie, übertreffen jedoch den Winkelbetrag der Faltenachsenauslenkung. Im Bereich des Esino-Tals bzw. seiner westlichen Fortsetzung in Richtung Perugia zeigt die Auslenkung der b_2-Achsen (s. Abb. 16) eine dextrale Bewegung vor der Hauptfaltung an, die durch den Versatz der massigen Liaskalke (Calcare Massiccio) auch im geologischen Kartenbild sichtbar wird. Da das generelle Faltenstreichen nicht gestört ist, muß man annehmen, daß die Störung nach der Faltung nicht mehr aktiv war. Die Struktur ist als Satellitenbildlineament weiter nach W zu verfolgen und vermutlich auch für die auffälligen Achsenabweichungen am Mte.Malbe bei Perugia verantwortlich. In gleicher Weise läßt sich aus den Achsenabweichungen im Cervarola-Sandstein und Morello-Alberese(Abb.18) an der Prato-Sillaro-Linie eine sinistrale Bewegung ableiten; hier ist auch ein sichtliches Abschwenken der Faltenachsenrichtung zu beobachten, wobei jedoch b_1 weniger stark verstellt ist als b_2. Dies weist auf fortbestehende Aktivität nach der Faltung hin. BORTOLOTTI vermutete bereits 1966 aufgrund mehrerer Indizien eine sinistrale Bewegungsrichtung. Im Hinblick auf die Fortsetzung der Prato-Sillaro-Linie nach Süden ist die Beobachtung interessant, daß entsprechende Achsenabweichungen auch am Südende des Mte.Albano auftreten, nicht aber am Nordende, wo BORTOLOTTI eine transversal zum Störungsstreichen versetzte Verlängerung der Struktur vermutete.

Abb. 18 Auslenkung der Kluftsystemachsen im Cervarolasandstein und der Formazione Marnoso-Arenacea
(Geologie nach Carta Geologica d'Italia 1 : 100 000, Fô 98 Vergato, II ed. sowie HEMMER 1972)



III. 2. Die Auswertung der Satellitenbildlineamente

2. 1. Interpretation von Störungen im Satellitenbild

Bei der Auswertung der Satellitenaufnahmen (Abb. 19 bringt die bearbeiteten SKYLAB-Streifen) zeigte sich, daß horizontale Versatzrichtungen nur sehr selten mit Sicherheit angegeben werden können. Dies ist an sich nicht weiter erstaunlich, da im benutzten Auswertemaßstab von 1 : 350 000 1mm des Modells 350 m in der Natur entspricht. Horizontale Versätze dieser Größenordnung sind erstens nicht sehr häufig und zweitens nur in idealen Fällen zu beobachten, etwa wenn ein deutlich erkennbarer Schichtausbiß, der beispielsweise als Kammlinie oder durch eine Bewuchsanomalie hervorgehoben erscheint, an einer schmalen Lineation versetzt ist. Zeichnet aber die versetzende Lineation ein größeres Tal nach, so daß der versetzte Schichtkopf für eine längere Strecke (etwa 1/2 cm im Modell) unterbrochen ist, so kann ein Versatz von 1 mm oft schon nicht mehr eindeutig bestimmt werden. Die Morphologie allein ist ein unzuverlässiger Indikator für Versatzrichtungen, was an der folgenden Detailabbildung des Apennin-Hauptkamms nördlich des Mte.Cimone demonstriert werden soll: Der Hauptkamm als morphologisches Element (s. Abb. 20) erscheint deutlich versetzt, die den südlichen Abschnitt des Hauptkamms bildende Schicht läßt sich aber ohne erkennbaren Versatz klar weiter nach N verfolgen. Die auf Anlage 1 durch Pfeile markierten Versatzrichtungen sind im Allgemeinen nur vermutet. Relativ sicher ist der angezeigte Versatz für die Störung am Passo di Lagastrello, das Störungsbündel am Mte.Albano und die Störungen in den Umbro-Marken (s.Abb. 19 und Anlage).

Im Gegensatz zu den Horizontalverschiebungen können die Vertikalbewegungen an den großen Längsstörungen mit großer Sicherheit erschlossen werden, da die von ihnen verursachte Horst- und Grabentektonik morphologisch stark ausgeprägt ist: Die Gräben treten als Becken oder Talungen in Erscheinung (Serchio-Tal, Mugello-Becken, Val di Chiana), die Horste als Höhenzüge (Mte. Albano, Mte.Cetona, Apuaner Alpen). Dafür stellt sich bei diesen großen Längsstörungen ein anderes Problem: Sie treten auf den SKYLAB-Aufnahmen teilweise überhaupt nicht als Lineamente in Erscheinung, sofern sie nämlich von den jungen Beckenfüllungen überdeckt sind.

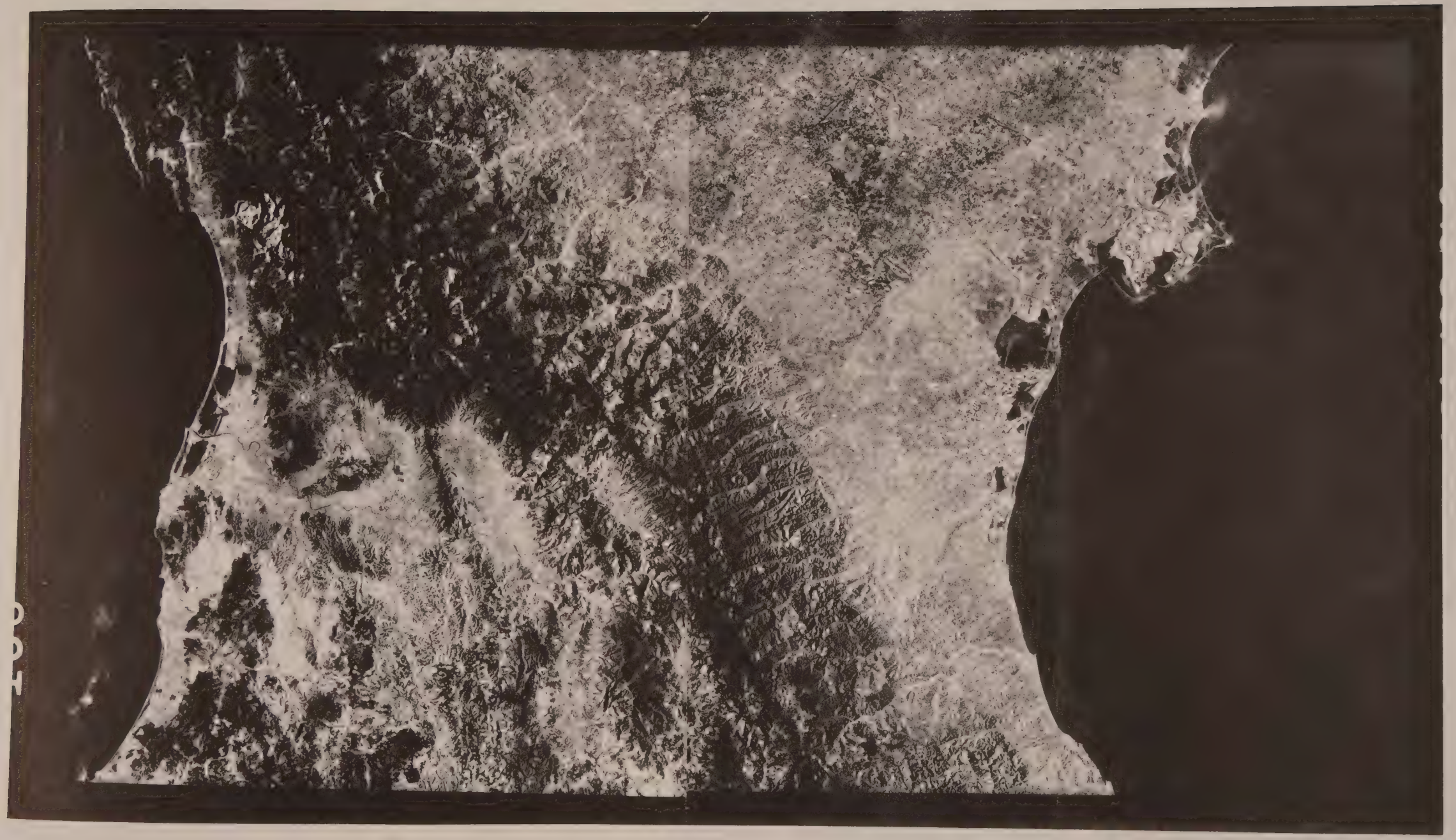


Abb.19a bearbeitete SKYLAB-Aufnahmen des Nordapennins (nördlicher Streifen)

0 10 20 50 km

Abb.19b bearbeitete SKYLAB-Aufnahmen des Nordapennins (südlicher Streifen)

0 10 20 50 km

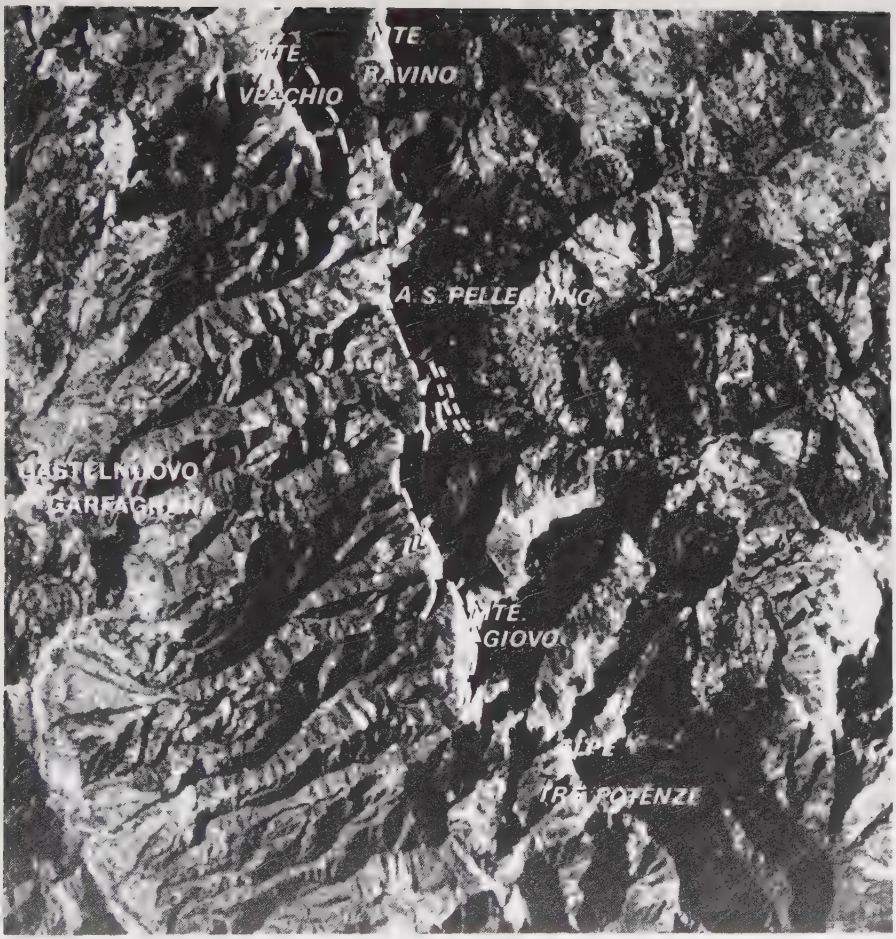
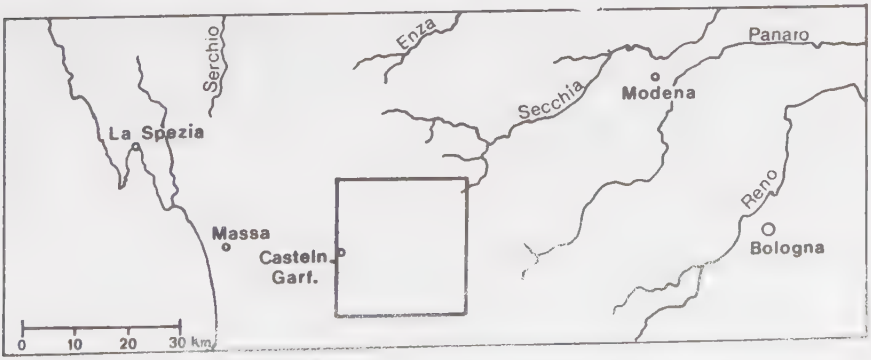


Abb.20 Apennin-Hauptkamm nördlich vom Abetone-Pa3

0 2 5 km



Lageskizze zu Abb. 20

Ursache dafür ist die hohe Auflösung der SKYLAB-Bilder. Die Erkennbarkeit auch kleingerasterter Felderteilung in den intensiv landwirtschaftlich genutzten, jungen Talfüllungen wirkt sich hier als Nachteil aus, indem sie größere Zusammenhänge verdeckt. Für die Kartierung solcher Beckenrandbrüche, die im jungen Deckgebirge noch wenig ausgeprägt sind, eignen sich deshalb LANDSAT-Aufnahmen besser.

Aufschiebende Bewegungen sind im Satellitenbild, zumindest im bearbeiteten Gebiet praktisch nicht erkennbar. Einzige Ausnahme bildet die Aufschiebung am Mte.Cetona, die auch im Satellitenbild durchaus vermutet werden kann (s. Abb. 19 und Anlage 1).

Allgemein ist zu beobachten, daß nur wenige Lineamente zu erkennen sind, die sich über verschiedene tektonische Einheiten erstrecken, so z.B. die Linie Prato-Sillaro, welche Macigno, Morello-Alberese, Cervarola-Sandstein, Cantiere-Monghidoro-Einheit und das Pliozän berührt. Ein anderes solches Lineament beginnt im Norden von La Spezia und erstreckt sich über den Passo di Lagastrello bis in das Enza-Tal. Es durchquert nacheinander die Serie Toscana, die ligurische Ophiolith-Einheit und die Orocco-Caio-Einheit. Als letztes Beispiel sei das Lineament genannt, das die Apuaner Alpen nach NW zu begrenzt. Diese Lineationen können nur als altangelegte Basementstrukturen gedeutet werden, welche die jüngere Bedeckung durchbrochen haben.

Nahezu alle anderen Lineamente, selbst von so großer Länge wie die Abschiebung, welche die Cetona-Orsaro-Struktur im W begleitet, verlaufen innerhalb derselben tektonischen Einheit oder trennen verschiedene tektonische Einheiten (z.B. die Linie Ancona-Anzio).

Aus diesen Beobachtungen folgt,daß die Existenz langaushaltender Großlineamente, welche den ganzen Gebirgskörper durchschlagen können,nicht unbedingt in Widerspruch gesehen werden muß zu einem weitreichenden Deckenbau,wie er für den Nordapennin vielfach gefordert wird.

2. 2. Die Hauptrichtungen

Aus der Lineamentkarte (Anl. 1) sind folgende Hauptlineamentrichtungen ableitbar, die zum großen Teil schon bei ausschließlicher Beachtung der stark gezeichneten Großlineationen ins Auge fallen:

a) zwei senkrecht aufeinander stehende Lineamentscharen mit Streichrichtungen von 65-70 bzw. 155-165°. Dieses Richtungspaar ist im gesamten kartierten Areal deutlich ausgeprägt.

b) ein weiteres Paar senkrecht zueinander verlaufender Richtungen mit bevorzugtem 25-50°-Trend und weniger starken, meist kürzere Lineationen erfassenden 115-140°-Trend. Dieses Lineamentpaar ist vor allem nördlich des Arno und in der Serie Umbra nördlich des Umbrischen Bogens gut ausgebildet. Richtungen um 40° sind auch in der südlichen Toskana, großenteils in den kleineren Lineationen, vertreten, während die korrespondierende 115-125°-Richtung zwar vorhanden, aber wenig ausgeprägt ist. Das Nera-Tal im Umbrischen Bogen bildet ebenfalls eine mit 40° streichende Großlineation. In den Abruzzen und im Piceno-Flysch herrscht wieder der 140°-Trend vor.

c) in der südlichen Toskana, dem Mte.Pisano und den Apuaner Alpen ist ein N-S- bzw. E-W-Trend erkennbar, meist in kleineren Lineationen. Dabei überwiegen in der südlichen Toskana die E-W-Richtungen deutlich gegenüber den N-S-Richtungen.

Diese Einteilung der Lineamente ist zunächst rein beschreibend. Eine genetische Betrachtung des beobachteten Lineamentmusters wird in Kapitel III.3.4 versucht.

2.3. Die statistische Analyse der Lineamentrichtungen

In Anhang 3 ist die Richtungsverteilung der digital erfaßten Lineamente für Rasterflächen der Größe 29 x 3o,5 km in Histogrammdarstellung beigegeben. Die Statistik bestätigt die aufgrund der visuellen Analyse ermittelten drei Systeme. Die den einzelnen Systemen zuzuordnenden Richtungen sind in den Histogrammen durch verschiedene Signaturen hervorgehoben.
In Abb. 21a,b sind die Histogramme als Richtungsrosen dargestellt. Dabei wurden Histogramme,welche im Überlappungsbereich zweier benachbarter Auswertemodelle liegen (sh. Anh.3,Bl.1) zu einer Rose zusammengefaßt. Die entsprechenden Rasterflächen sind deshalb in der Längsrichtung gegenüber der Einheitsfläche gedehnt. Hinsichtlich der quantitativen Ausprägung der einzelnen Richtungen sind eineige Abweichungen im Vergleich zur qualitativen Analyse zu vermerken. Insgesamt läßt sich die Aussage über die regionale Ausbildung der Systeme in folgender Weise präzisieren:

System 1: Im nördlichen Flugstreifen sind 65°- und 155°-Richtung ähnlich stark ausgeprägt mit Ausnahme des Bereiches Val di Chiana Nord und des Gebietes zwischen Secchia-Tal,Mugello und Lamone-Tal,wo der 155°-Trend vorherrscht. Im südlichen Streifen dominieren im Allgemeinen die 155-16o°-Lineamente,besonders in den jungen Vulkaniten der SW-Toskana und Latiums und im inneren Umbrischen Bogen zwischen Gubbio und Nera-Tal.
System 2: Nahezu im gesamten Nordapennin überwiegen 1o5-125° streichende Lineamente gegen die querschlägige 25-35°-Richtung. Nur entlang der Tyrrhenis-Küste und im Markenvorland sind die beiden Scharen gleich stark vertreten oder die querschlägige Schar herrscht leicht vor. Besonders auffällig ist ein starker 1o5-115°-Trend in der Süd-Toskana und Nord-Latium (abgesehen vom Küstenstreifen) sowie der Umgebung von Mte.Albano und Mugello.
System 3: N-S- und vor allem E-W-Lineamente treten gegenüber den oben genannten Richtungen etwas zurück. E-W-Richtungen gewinnen im Grenzbereich Toskana-Umbrien an Bedeutung,N-S-Lineamente in den Apuaner Alpen,der südlichen Toskana, dem Markenvorland und im Gebiet des Marecchia-Tals.
Sehr deutlich kommt in der Lineamentstatistik zum Ausdruck,wie sich die toskanische Streichrichtung des Substrates durch die darüberliegenden Vulkanite durchpaust.

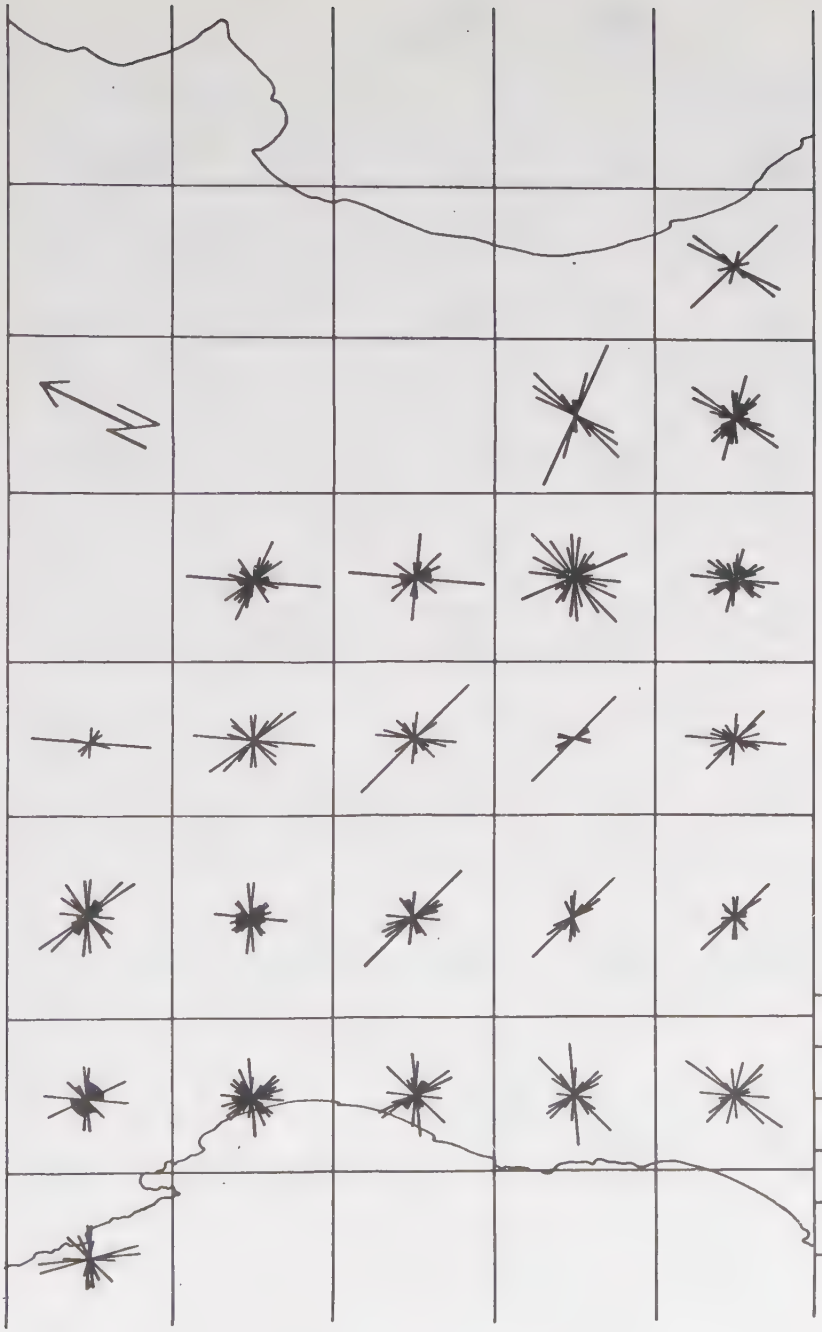


Abb. 21a Lineamentstatistik Nord

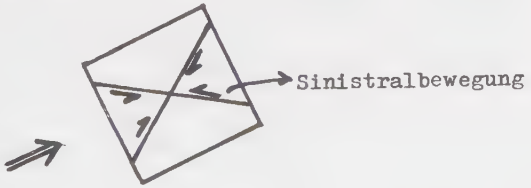
Abb.21b Lineamentstatistik Süd

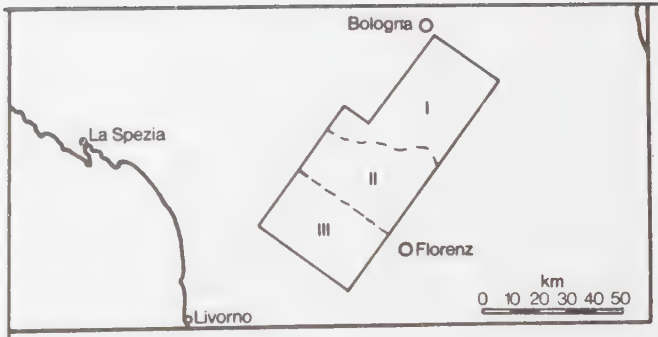
2. 4. Die Prato-Sillaro-Linie im Satellitenbild

Im Satellitenbild erscheint als Hauptelement der Prato-Sillaro-Linie ein gut ausgeprägtes Lineament, welches dem Idice-Tal folgt und die Cantiere-Monghidoro-Einheit nach E begrenzt. Weiter im S durchschneidet dieses Lineament den Morello-Alberese in Richtung auf den Ort Calenzano (wenige km E von Prato). Dieses Lineament wurde bereits von GELMINI (1966) im Rahmen seiner Luftbildinterpretation des Apennins zwischen Valdarno und Romagna angesprochen.
Eine detaillierte statistische Analyse der Lineamentrichtungen in der Umgebung der PSL, geschaffen auf der Basis einer Spezialkartierung der SKYLAB-Aufnahmen im Maßstab 1 : 100 000, zeigt folgende Aspekte (s. die Lineamentrosen der Abb. 21):

- im Gebiet des Mte.Albano überwiegt die antiapenninische Richtung (35°) im Vergleich zur PSL-Hauptrichtung weiter im N (20°)
- südlich der Überschiebung des Cervarola-Sandsteins auf die umbrische Marnoso-Arenacea gewinnt die PSL-Richtung gegenüber der antiapenninischen Richtung wesentlich an Bedeutung
- nördlich der Cervarola-Überschiebung schwenkt die PSL in 5-10°-Richtung um.

In allen drei Bereichen sind untergeordnete Maxima bei 75°, 95° und 160° entwickelt. Der 160°-Trend ist im gesamten Nordapennin anzutreffen (s. Kap. III.2.2).
Die ersten beiden Richtungen sind als Scherrichtungen dem 40°- bzw. 65°-Trend der beiden Hauptlineamentsysteme zuzurechnen (s. Kap. III.2.2). Es ist interessant, daß nur diejenigen Scherrichtungen ausgebildet sind, welche entsprechend den Gesetzen der Felsmechanik sinistrale Bewegungen ermöglichen, wie in der folgenden Skizze veranschaulicht wird:

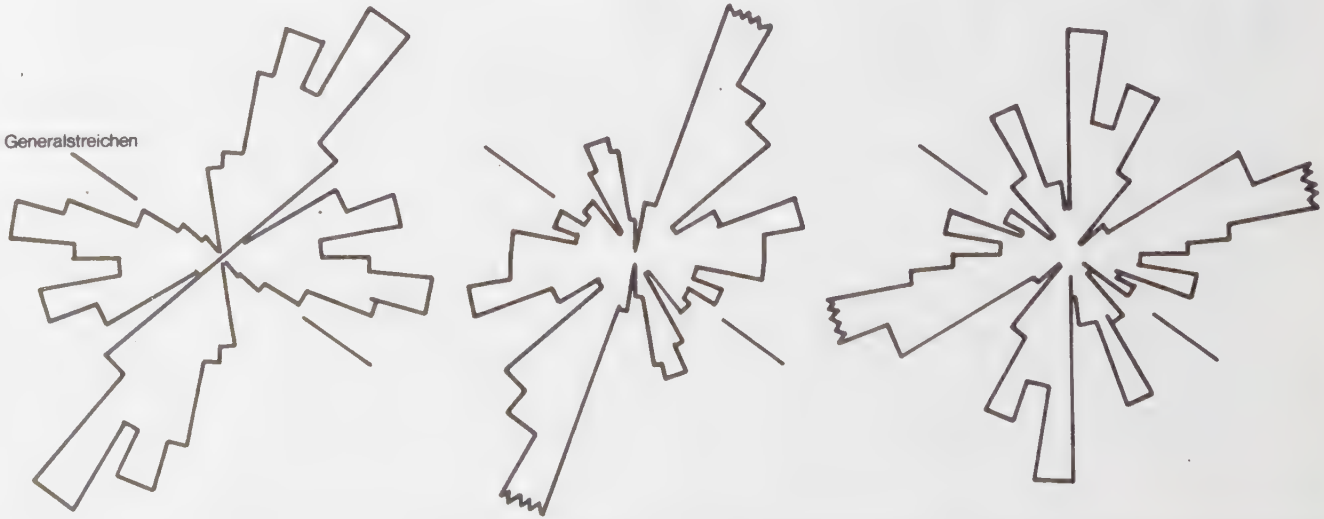




N CERVAROLA - AUFSCHIEBUNG (I)

S CERVAROLA - AUFSCHIEBUNG (II)

MTE. ALBANO (III)



Bezüglich der Fortsetzung der PSL nach der tyrrhenischen Küste erlaubt das Satellitenbild folgende Aussagen:
Im südlichen Teil des Mte.Albano sind mehrere Störungen auszumachen, deren sinistraler Versatz aus dem Satellitenbild deutlich hervorgeht. Sie verlaufen senkrecht zum Streichen des Mte.Albano, weichen also vom PSL-Streichen im N ab. Dieses Lineamentbündel setzt sich im W des Mte. Albano auf die tyrrhenische Küste bei Livorno zu fort. Im Satellitenbild wird also ein Umbiegen der PSL in SW-NE-Richtung evident, worauf auch die Lineamentstatistik für den Mte. Albano hinweist (s.Abb.22). Eine derartige Fortsetzung in Richtung S-Ende des Mte.Albano wurde ja schon aufgrund der Interpretation des Kluftgefüges vermutet. Die Häufigkeit der 2o°-Richtung im gesamten Bereich des Mte.Albano kann als Ausklingen der PSL-Richtung weiter im N und/oder als Scherrichtung zum Faltenbau des Mte.Albano gedeutet werden.

III. 3. Die Integration von Satellitenbild- und Geländeinformation

Die Korrelation Satellitenbild- Gelände umfaßt folgende Teilschritte:

- Nachweis der Beziehung zwischen Kluftgefüge und der Richtung von Satellitenbildlineationen
- Gegenüberstellung der im Profilbereich gemessenen Störungen (ergänzt durch die in den amtlichen geologischen Karten enthaltenen Störungen) und der Satellitenbildlineamente
- vergleichende Betrachtung von Kluftsystemen und Lineamentmuster

Ziel dieser Korrelation ist es, die Lineamente zunächst bekannten geologischen Phänomenen zuzuordnen, um sie dann soweit wie möglich im Sinne des apenninen Gebirgsbaues zu interpretieren.

3. 1. Der Einfluß von Satellitenbildlineationen im Kluftgefüge

Als typische Beispiele für den gefügeprägenden Einfluß topographisch genau festlegbarer Satellitenbildlineationen werden unten die Diagramme der Meßpunkte S 15, S 35, N 6 und N 21 präsentiert. S 15 liegt in der streichenden Fortsetzung einer mit etwa 105° streichenden Satellitenbildlineation, welche im Aufschluß als Störungsfläche in Erscheinung tritt. S 35 liegt am Ausgang der Rossa-Schlucht (Gola della Rossa, Esino-Tal). Riesige Harnischflächen weisen dort auf Blattverschiebungen mit relativ starker Vertikalkomponente hin (die Striemung taucht mit 35° nach NE ab). N6 und N 21 werden von jenem Großlineament berührt, welches im Satellitenbild das Hauptelement der Prato-Sillaro-Linie konstituiert (s. Kap. III.2.4).

In allen vier Diagrammen ist ein Störungsbegleitgefüge zu erkennen. Am häufigsten sind hko-Begleitscherbrüche ausgebildet, welche entsprechend den Untersuchungsergebnissen von BOCK (1972) asymmetrisch mit Winkeln 20-25° bzw. 30-35° zum Störungsstreichen angeordnet sind. Daneben sind bc-Parallelflächen, aber auch begleitende hol und okl vertreten.

3. 2. Der Vergleich von Satellitenbildlineationen mit bekannten Störungen

Es ist aus zahlreichen Lineamentinterpretationen bekannt, daß Lineamente zum Teil bekannte Störungen nachzeichnen, zum Teil nicht im Gelände als Störungen angesprochen werden können und daß andererseits wiederum nicht alle Störungen als Lineationen in Erscheinung treten.
Abb. 24 zeigt eine vergleichende Darstellung von Satellitenbildlineationen, im Gelände gemessenen und in den amtlichen geologischen Karten enthaltenen Störungen für den weiteren Bereich der Geländeprofile. Im nördlichen Profil wird die relative Überbetonung von aufschiebenden Störungen bei der Geländekartierung besonders deutlich. Dieser Überbetonung steht eine klare Unterrepräsentation im Satellitenbild gegenüber, da ja bekanntlich nur steilstehende Flächen typische Lineationen hervorrufen.

Diagramm N 6 Bisano-Val d'Idice

Diagramm N 21 Abzweigung Legri

Abb.23 Beispieldiagramme für Störungsbegleitgefüge

Diagramm S 15 S,Casciano N

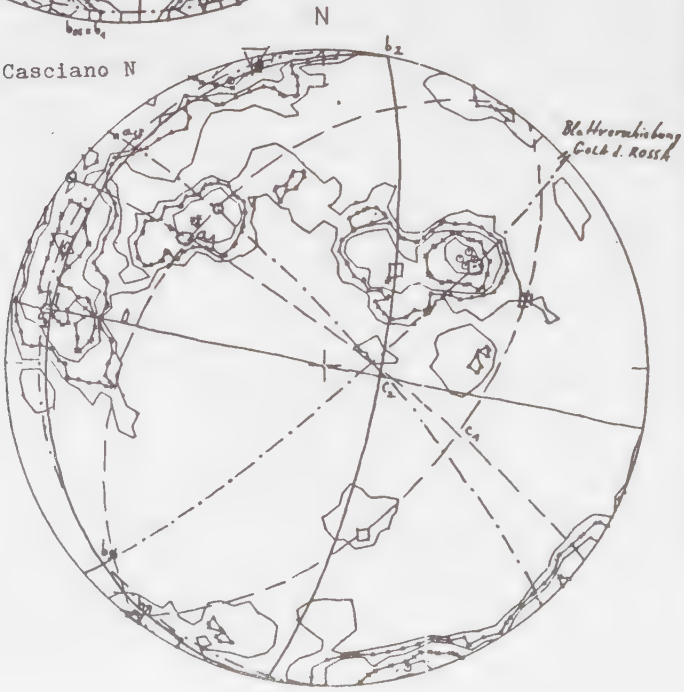


Abb.23 Beispieldiagramme für Störungsbegleitgefüge

Diagramm S 35 Gola della Rossa

Im übrigen stellt man beim sorgfältigen Vergleich zunächst fest, daß die Satellitenbildlineationen das Störungsmuster nicht in der genauen topographischen Anordnung wiedergeben, wie sie durch die Geländekartierung angezeigt wird. Dies ist teilweise schon dadurch bedingt, daß weder Lineations- noch Störungskartierung als vollständig angesehen werden können. Andererseits läßt sich aber erkennen, daß innerhalb kleinerer Bereiche das Störungsmuster nahezu vollständig von entsprechenden Lineationsrichtungen nachgezeichnet wird. Das bedeutet also, daß die Lineationen das Störungsnetz statistisch vollständig, jedoch nicht in der genauen topographischen Anordnung wiedergeben, solange man nur die - allein vergleichbaren - steil einfallenden Flächen betrachtet.

3. 3. Lineamentmuster und Kluftsysteme

Die in Kap. III.2.2 vorgenommene Einteilung der Lineamentrichtungen war rein beschreibend. Anzustreben ist dagegen eine genetische Interpretation des beobachteten Lineamentmusters. Ohne zusätzliche Daten ist aber eine mechanische Deutung von Lineamentrichtungen nicht möglich. Während bei der Darstellung von Klüften im Schmidt'schen Netz die dreidimensionale Betrachtungsweise Aussagen über die Anordnung der Gefügeachsen und bei einer entsprechenden Datenmenge dann auch eine genetische Interpretation (Zuordnung der a-, b-, c-Achse) zuläßt, sind bei den nur in zwei Dimensionen definierten Lineamenten zu viele Deutungsmöglichkeiten gegeben. Jedoch schränkt die paarige Anordnung mit je zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen den Interpretationsspielraum etwas ein. Da sich die drei Lineamentsysteme infolge der Bogenform des Nordapennin über Gebiete stark unterschiedlichen Gebirgsstreichens erstrecken (besonders System 1 und 2), kann nicht ohne weiteres auf eine gleiche Genese der Systeme im gesamten Areal geschlossen werden. Andererseits ist aber ein Zusammenhang zwischen Gebirgsbau und Lineamentrichtungen naheliegend. Geht man die Interpretation der Lineamentanordnung unter dieser Voraussetzung an, so

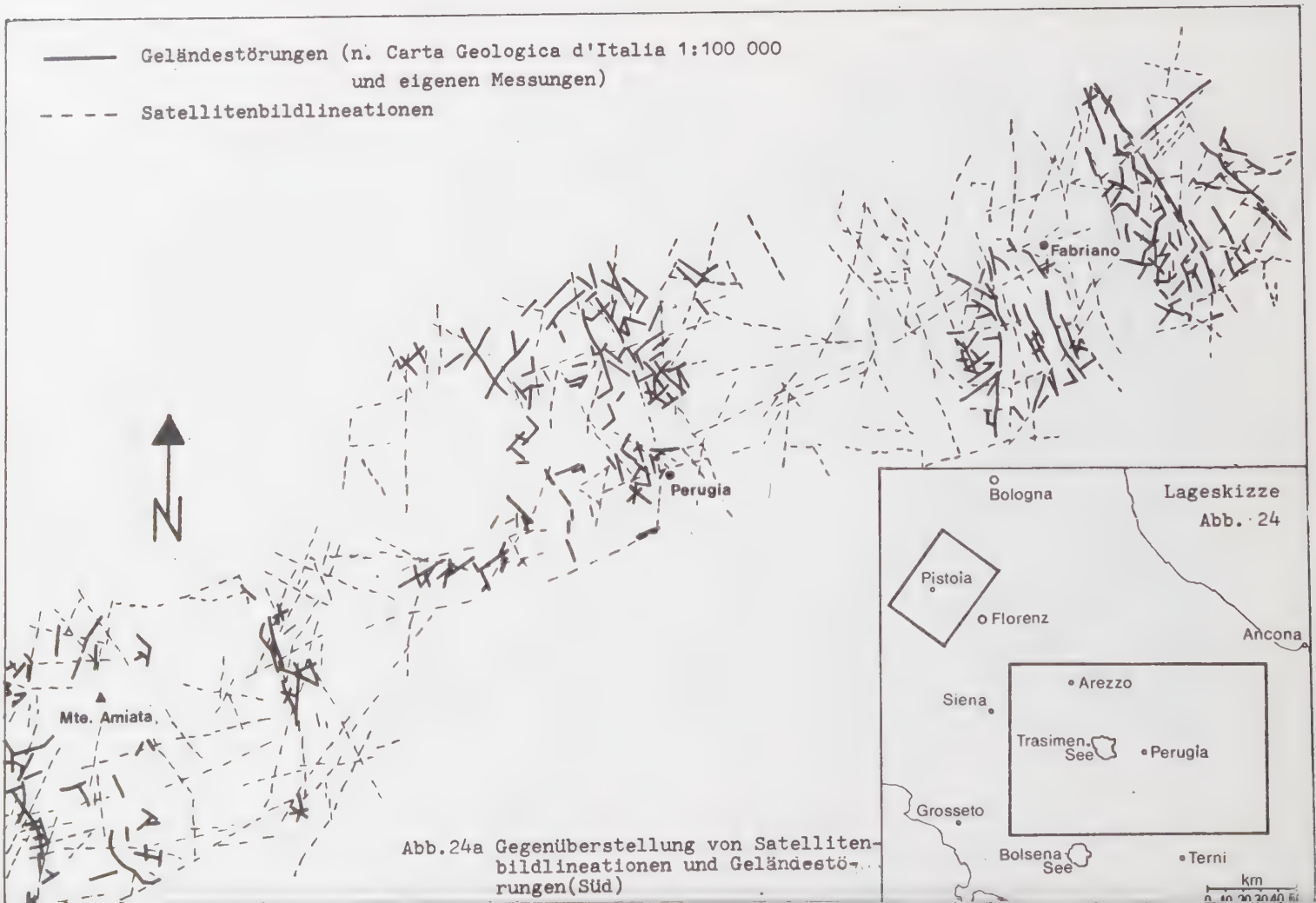


Abb.24a Gegenüberstellung von Satellitenbildlineationen und Geländestörungen(Süd)

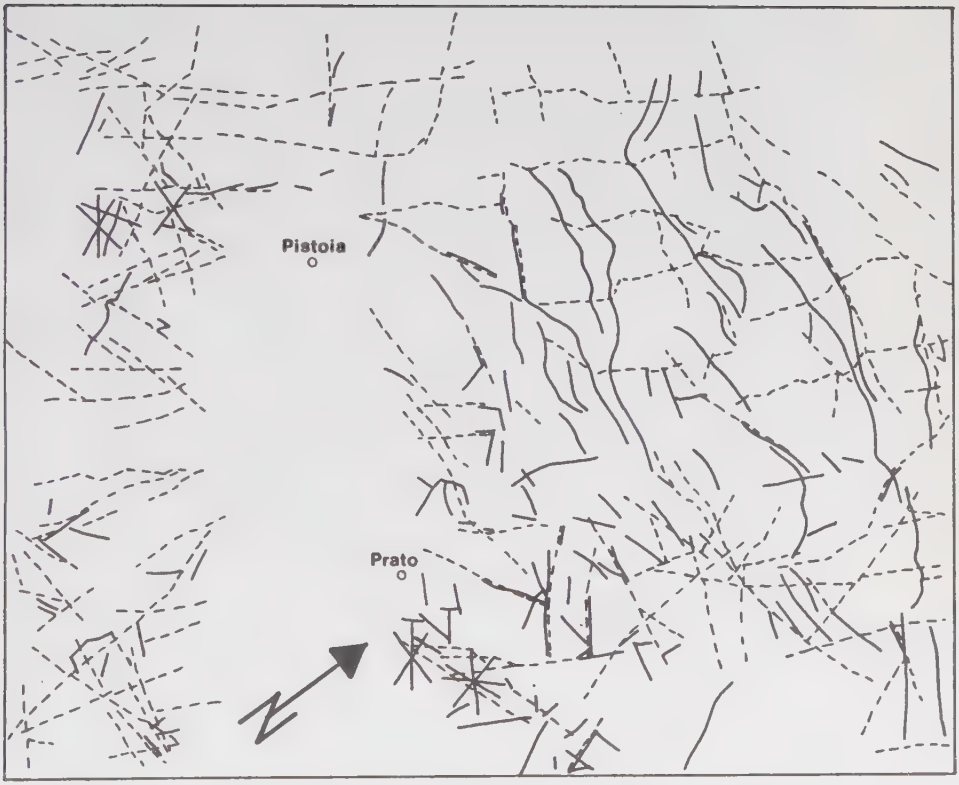


Abb.24b Gegenüberstellung von Störungen und Satellitenbild-lineationen (Nordprofil)

fällt sogleich auf, daß das 70/160°-System dem toskanischen Gebirgsstreichen zugeordnet werden kann, das 25-50/115-140°-System dem Streichen der ligurischen und emilianischen Serien weiter im N sowie der umbrischen Formazione Marnoso-Arenacea nördlich des Umbrischen Bogens. Im gesamten Nordapennin existiert also ein Lineamentsystem, das mit Längs(bc-)- bzw. Quer(ac-)-Richtungen auf den apenninen Faltenbau bezogen ist. Dieses System ist auch im Verlauf des Umbrischen Bogens ausgeprägt, wobei die beiden Hauptrichtungen bis zu 100/190°-Streichen umschwenken. Neben den achsenparallelen Lineamenten treten vor allem in der Toskana und in Umbrien Scherrichtungen auf.
Wie in Kap. III.2.2. dargestellt, kommen die beiden genannten Systeme im gesamten Nordapennin vor, also auch dort, wo man diese Richtungen nicht mit dem heutigen Faltenbau in Beziehung setzen kann. Bei der Kluftanalyse wurde im südlichen Arbeitsgebiet neben dem faltenbezogenen Kluftsystem ein zweites Gefüge festgestellt, welches gegenüber dem ersten Gefüge um etwa 20° rotiert erscheint. Auch in den mesozoischen Serien von Monsummano und Montecatini (nördliches Profil) scheint dieses System gesichert, wogegen für die jüngeren Serien im Bereich der PSL keine fundierte Aussage möglich ist. Mit diesem zweiten Kluftsystem ist der N-S- bzw. E-W-Trend der südlichen Toskana korrelierbar. Möglicherweise ist die Verbreitung des 70/160°-Systems weiter nach N, wo die Faltenachsen mit 125-140° streichen, ebenso zu deuten. Dies stünde in Übereinstimmung mit der von BODECHTEL & NITHACK geforderten Bewegung dieses Gebiets im Uhrzeigersinn (s. Abb. 1). Es muß aber betont werden, daß der 160°-Trend auch als Scherrichtung zu den Faltenachsen gedeutet werden könnte, zumal entsprechende konjugierte Richtungen ebenso zu finden sind. Die 20/110°-Richtungen in der südlichen Toskana entsprechen als Bruchtektonik im Rückland dem später weiter extern angelegten Faltungsplan.

III. 4. Tektonische Zusammenhänge im nördlichen Apennin

Generell bestätigen die Differenzen der Kluftsystemachsen des südlichen Profils das von BODECHTEL & NITHACK (1974) vorgeschlagene Bewegungsmodell für den toskanisch-umbrischen Apennin. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit bildet jedoch die nördliche Grenze des bewegten Blockes nicht eine von diesen Autoren geforderte Störung längs des Arno-Tales bzw. seiner östlichen Verlängerung. Eine solche Horizontalstörung ist in ihrem gesamten Verlauf geologisch kaum evident und östlich von Florenz auch morphologisch kaum nachweisbar. Insbesondere Horizontalverschiebungen der Größenordnung von Zehnerkilometern sind längs dieser Linie weder nachweisbar noch wahrscheinlich, andererseits aber für die Funktionsweise des Modells unerläßlich. BORTOLOTTI (1966) vermutete einen beträchtlichen horizontalen Versatz an der Linie Prato-Sillaro. Seine Annahme wird durch die Ergebnisse vorliegender Arbeit unterstützt. Deshalb wird hier als nördliche Begrenzung des bewegten Bereiches die Linie Prato-Sillaro vorgeschlagen. Die Annahme der PSL als nördlicher Grenze der toskanisch-umbrischen Scholle zieht Konsequenzen nach sich für die Mechanik der erfolgten Bewegung: die Gestalt des gedrehten Krustenblockes ist nicht mehr durch ein Dreieck zu beschreiben, sondern angenähert durch ein Parallelogramm. Es ist deshalb sinnvoller und physikalisch genauer, die Richtungsdifferenzen der Kluftsystemachsen, welche auch im Lineamentmuster ausgeprägt sind, nicht einer echten Rotation zuzuschreiben. Man sollte eher gemäß dem in Abb.25 dargestellten Schema von einer großmaßstäbigen Scherung sprechen. Diese - entsprechend dem Bewegungssinn an der PSL - sinistrale Scherung begünstigte dextrale Rotationen im Kleinbereich, welche zu den beobachteten Achsendifferenzen führen.

Die Fortsetzung der PSL als nördlicher Blockrandstörung nach SW ist bisher nicht geklärt. Andererseits kann jedoch diese tiefreichende Struktur, die in erster Linie durch geophysikalische Daten entdeckt wurde (Abbiegen der Isogammen, linear angeordnete, erhöhte Erdbebentätigkeit) nicht spur-

los verschwinden. BORTOLOTTI vermutete einen lateralen Versatz der Linie im Raum Prato-Pistoia und fordert dementsprechend eine Fortsetzung als Linie Livorno-Pistoia. Aufgrund der fehlenden Achsenflexuren im Bereich Mte.Albano N (s. Kap. III.1.2) erscheint dies wenig wahrscheinlich. Die den Werten im Cervarola-Sandstein und Morello-Alberese vergleichbaren Flexuren im Südteil des Mte.Albano und die zahlreichen, im Satellitenbild erkennbaren Störungen mit sinistralem Versatz sprechen vielmehr für eine leicht gebogene Verlängerung der PSL in Richtung Mte.Albano S. Über die weitere Fortsetzung zur tyrrhenischen Küste können hier nur Vermutungen angestellt werden. Die im Satellitenbild erkennbaren Großlineationen (s. Anlage 1) bestätigen aber BORTOLOTTI's wohlfundierte Annahme, daß sich die Struktur in Richtung auf Livorno fortsetzt.

Auf einen sinistralen Versatz an der Linie Livorno-Sillaro weisen folgende Beobachtungen hin:

- die Auslenkung der b_2-Achsen und der Faltenachsen aus dem normalen apenninischen Streichen, am stärksten ausgeprägt im Cervarola-Sandstein und dort auch im geologischen Kartenbild sichtbar, jedoch im Bismantova-Sandstein, der Formazione Marnoso-Arenacea, dem Mte.Morello-Alberese und dem Macigno ebenso vorhanden
- sämtliche im Satellitenbild erkennbaren Störungen sind sinistral
- nördlich der Linie sind fast ausschließlich und in großer Zahl diejenigen Scherrichtungen ausgebildet, welche sinistrale Bewegungen ermöglichen
- der Versatz des kretazischen Küstenrückens (nach BORTOLOTTI 1966)
- die sinistrale Auslenkung der Isogammen

Nach BORTOLOTTI kann der horizontale Versatzbetrag 50 - 60 km überschritten haben.

Die südliche Blockbegrenzung bildet die Linie Ancona-Anzio. Hinsichtlich der Bewegungen an dieser Großstörung können keine eigenen Beobachtungen beigesteuert werden. Das Satellitenbild läßt eine eindeutige Aussage nicht zu,was teilweise durch die partielle Wolkenbedeckung im N der Linie bedingt ist. Ein großer Horizontalversatz ist im Satellitenbild nicht zu vermuten. Aufgrund großtektonischer Erwägungen ist die Frage offen-

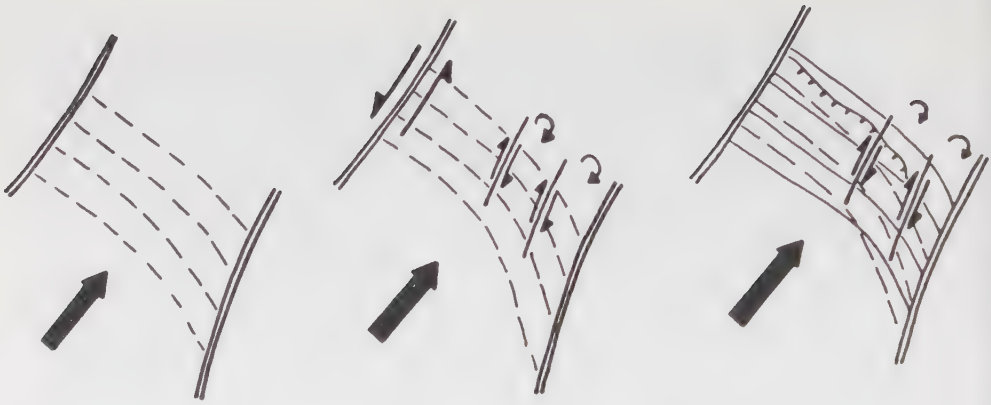
sichtlich ebenfalls nicht eindeutig zu entscheiden, wie die unterschiedlichen Meinungen bei OGNIBEN (1968), DALLAN-NARDI et al. (1972) sowie PAROTTO & PRATURLON (1975) beweisen. Neuere Untersuchungen des Geologischen Instituts der Universität Florenz weisen jedoch darauf hin, daß an der Linie nur kleine Horizontalverschiebungen in der Größenordnung von Zehnermetern stattgefunden haben (mündl.Mitt. Dott.ZAN). Klar ist die Funktion der Linie Ancona-Anzio als Grenze zwischen umbrischer und Abruzzenfazies. Dabei sind die umbrischen Serien an der Linie Ancona-Anzio auf die Abruzzen überschoben. Bedeutende Vertikalverschiebungen sind ebenfalls nachgewiesen. Auch die Linie Ancona-Anzio ist nicht in ihrem Gesamtverlauf belegt, genauso wie ihr Pendant weiter im N, die Linie Livorno-Sillaro. Insbesondere ihr Verlauf unter den jungtertiären Vulkaniten ist hypothetisch.

Die eben vorgetragenen Überlegungen - großer Horizontalversatz im N, "Festhängen" im S - werfen ein neues Licht auf das Phänomen des Umbrischen Bogens (s. Abb. 25 und 16):

Der beträchtliche Horizontalversatz an der PSL wird im Umbrischen Bogen durch etliche Dextralstörungen abgebaut (z.B. Gola della Rossa, Nera-Tal). Diese Dextralstörungen bewirken einerseits die Differenz der Kluftsystemachsen, andererseits zumindestens teilweise durch den staffelartigen Versatz das Umschwenken der Großfaltenachsen bis in N-S-Richtung.

Nach diesem Modell wären südlich der PSL geringere oder gar keine Drehungsbeträge zu erwarten. Meßdaten liegen für diesen Bereich nicht vor. Die unmittelbar an der PSL gelegenen Meßpunkte können aufgrund des quantitativ schwer abschätzbaren Einflusses, den die Horizontalbewegungen an der PSL auf die Achsenrichtungen ausgeübt haben, nicht herangezogen werden. Möglicherweise ist jedoch die geringe Achsendifferenz in den Mti.dell'Uccellina in diesem Sinne zu interpretieren.

Was die durch das Lineamentmuster nahegelegte Verbreitung der beiden Achsensysteme im N der PSL betrifft, haben BODECHTEL & NITHACK eine analoge Bewegung wie im südlichen Bereich gefordert. Diese These müßte durch zusätzliche Geländemessungen bestätigt werden. Die Messungen im Hauptkamm-Macigno nördlich des Mte.Albano zeigen geringere Achsendifferenzen an, während die beiden Lineamentsysteme weiterhin einen 20°-Winkel einschließen, welcher auch in den mesozoischen Aufschlüssen der Serie Toscana (s. Diagrammanhang N 31-33 u. Abb.16) nachweisbar ist.



a

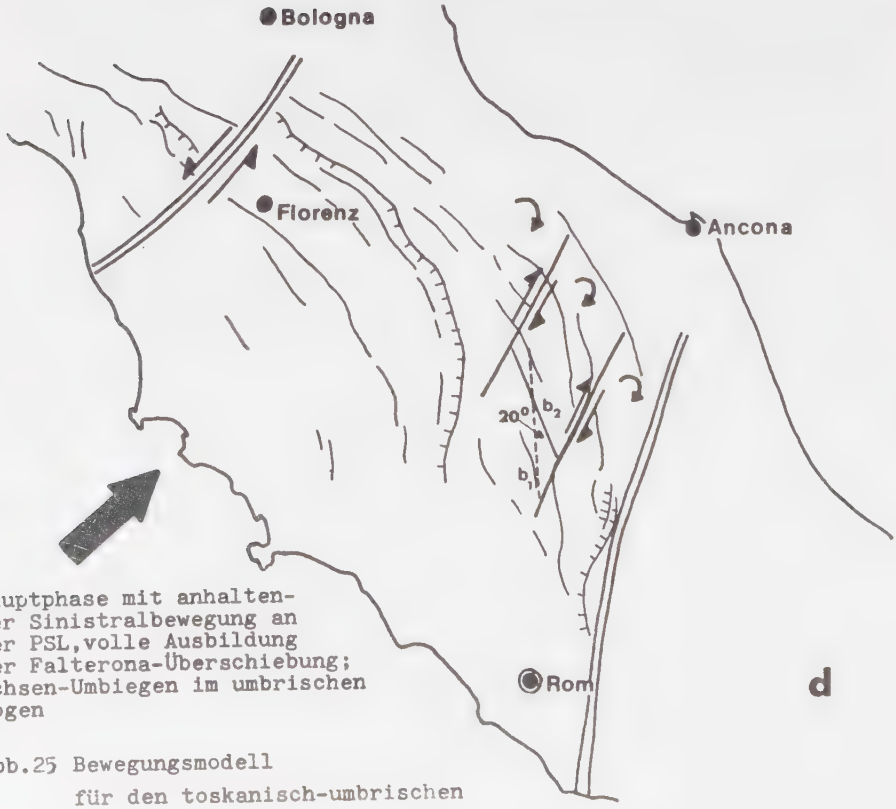
Anlage von b_1

b

Sinistralbewegung an der PSL, Dextralstörungen in Umbrien; Rotation von b_1

c

Auffaltung; Anlage von b_2 beginnende Aufschiebungen



Hauptphase mit anhaltender Sinistralbewegung an der PSL, volle Ausbildung der Falterona-Überschiebung; Achsen-Umbiegen im umbrischen Bogen

Abb.25 Bewegungsmodell für den toskanisch-umbrischen Raum

Das vorgeschlagene Bewegungsmodell steht nicht in Widerspruch zu dem Konzept einer Rotation Italiens gegen den Uhrzeigersinn. Dieses Konzept wird aufgrund paläomagnetischer Messungen von verschiedenen Autoren verfochten (z.B. ALVAREZ und LOWRIE 1975, CHANNELL und TARLING 1975). Denn nach CHANNELL und TARLING ist der Großteil dieser Bewegung bereits in der Kreide abgeschlossen. Für die restliche Bewegung kommt nach noch nicht veröffentlichten italienischen Arbeiten erst die Zeit nach dem Miozän in Betracht (mündl.Mitt. Dott.GIOVACCHINI). Außerdem kann man kaum mit einer einheitlichen Bewegung des Gesamtraumes Italien rechnen, wie von CHANNELL und TARLING betont wird. Vielmehr erscheinen gegenläufige Bewegungen einzelner Teilbereiche auch aufgrund paläomagnetischer Daten wahrscheinlich.

III. 5. Schlußfolgerungen

In Kap. I.2.5 wurde die Problemstellung der Arbeit definiert. Dabei wurde unterschieden in Zielsetzungen regional-geologischen Bezugs und Zielsetzungen methodischer Art. Die regional-geologischen Aspekte waren Gegenstand des vorhergehenden Kapitels. Somit ist zum Schluß die Frage zu stellen, inwieweit die methodischen Zielsetzungen erfüllt wurden und welche Schlußfolgerungen daraus zu ziehen sind:

1) die terrestrische Photogrammetrie eignet sich ausgezeichnet für die Durchführung langdauernder und großflächiger Meßserien. Im Rahmen dieser Arbeit konnte ein Gebiet von etwa 3 800 km^2 in zwei Meßkampagnen von 6 bzw. 1 Woche Dauer mit einer Vollständigkeit erfaßt werden, wie sie ohne den Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie nicht möglich gewesen wäre. Trotz der zeitweise beträchtlichen Hitzegrade traten keine Probleme bezüglich der Haltbarkeit des Photomaterials auf, das wegen Bezugsschwierigkeiten im Ausland von Anfang an mitgeführt werden mußte. Dies ist insbesondere für den Einsatz im außereuropäischen Ausland interessant.

2) die kluftstatistische Arbeitsmethode hat sich für die Bearbeitung der Thematik gut bewährt. Mit ihrer Hilfe konnten zwei Kluftsysteme nachgewiesen werden, die sich zumindest im südlichen Arbeitsgebiet zwei in räumlicher und zeitlicher Anordnung verschiedenen Beanspruchungsstadien zuordnen lassen. Bestimmender Faktor für das quantitative Verhältnis der Kluftscharen untereinander ist nach den vorliegenden Untersuchungen die Stellung im Faltenbau. Für eine detaillierte Behandlung dieser Problematik, die sowohl von theoretischem Interesse wie auch von praktischer Bedeutung ist, wie entsprechende Arbeiten im Ruhrkarbon zeigen, wäre jedoch eine höhere Meßpunktdichte anzustreben. Dasselbe gilt, wenn man Genaueres über die tektonische Geschichte kleinerer Bereiche (z.B. Mte.Cetona, Kalkscholle von Castell'Azzara) aussagen will.

3) einige exakt lokalisierbare Satellitenbildlineamente (Val d'Idice, Gola della Rossa) wurden im Gelände als Störungen identifiziert. Im Kluftmuster konnten entsprechende Störungsbegleitgefüge nachgewiesen werden. Außerdem ist innerhalb kleinerer Bereiche eine statistische Übereinstimmung von Satellitenbildlineamenten und kartierten Störungen gegeben.

4) eine vom Geländebefund unabhängige, geomechanische Deutung des gesamten Lineamentmusters ist wegen der Vielfalt der auftretenden Richtungen nicht möglich. Mit den aus dem Kluftgefüge abgeleiteten Hauptspannungsrichtungen bzw. dem bereits bekannten und auch im Satellitenbild erkennbaren Faltenbau kann das Lineamentmuster jedoch gut erklärt werden, sowohl was die beobachteten Großlineamente als auch die statistische Verteilung aller Lineamente angeht.
5) mit der angewendeten Arbeitsmethode - Satellitenbildinterpretation verbunden mit begrenzter Geländetätigkeit - ist es gelungen, in kurzer Zeit ein beträchtliches tektonisches Datenmaterial zu sammeln. Damit steht nunmehr eine tektonische Interpretationsgrundlage zur Verfügung, welche bisher kaum in Ansätzen vorhanden war. Mit diesem Material konnte für das Gebiet südlich der Linie Livorno-Sillaro eine Ergänzung bzw. Alternative zu den bislang gültigen Vorstellungen über die tektonische Geschichte dieses Raumes erarbeitet werden.
Die Domäne des Satellitenbildes liegt bei der schnellen Erfassung der tektonischen Hauptrichtungen. Die Interpretation dieser Richtungen, auch die Bestimmung von möglichen Versatzrichtungen, bleibt weitgehend Sache der Geländearbeit. Die Feingliederung in verschiedene Faziesbereiche, wie sie im Nord-Apennin durchgeführt wurde, ist ebenfalls nur durch intensive Geländearbeit möglich, wogegen sich die strukturelle Großgliederung dem Satellitenbild entnehmen läßt.
Vergleicht man also die angewandte Arbeitsmethode mit der herkömmlichen geologisch-tektonischen Geländeaufnahme (als "tektonische Ergänzung" wurde die Methode ja von vornherein betrachtet), so liegt ihr Wert erstens in der Vollständigkeit der Datenerfassung und zweitens in der erheblichen Reduzierung der notwendigen Geländearbeit . Dies betrifft die räumliche Überdeckung, welche das Satellitenbild gewährleistet, ebenso wie die Erfassung des Kluft- und Lineamentgefüges bei Aufschlüssen und Gebieten, welche der konventionellen Methode nicht zugänglich sind. Als dritter Punkt ist der vom Satellitenbild vermittelte synoptische Überblick über große Gebiete zu nennen.

Zusammenfassung

Entlang zweier Traversen durch den Nordapennin wurden ca. 14 000 Kluftflächen - größtenteils unter Anwendung der terrestrisch-photogrammetrischen Meßmethode - eingemessen. Die Interpretation der Kluftflächenkonfigurationen im Schmidt'schen Netz ergab die Existenz von zwei Kluftsystemen über die Gesamterstreckung beider Geländeprofile.
Im Normalfall ist ein Kluftsystem auf die Schichtung bezogen, d.h. die c_1-Achse steht senkrecht zur Schichtung, a_1 und b_1 liegen in der Schichtebene. Das zweite, jüngere System ist mit der b_2-Achse parallel zum generellen Faltenstreichen orientiert. In Gebieten weitgehend flacher Lagerung steht die c_2-Achse annähernd senkrecht zur Erdoberfläche, die a_2-Achse entsprechend der rhombischen Gefügesymmetrie horizontal. Das bereits im Frühstadium der Sedimentation angelegte b_1-System wurde während der ersten apenninen Hauptgebirgsbildungsphase im Aquitan ausgebaut, das b_2-Gefüge zu Beginn der zweiten orogenen Hauptphase im Torton angelegt.
Die statistische Analyse der Trennflächenhäufigkeiten führte zur Aufstellung dreier Grundgefügetypen, welche durch die flach bis mittelsteil einfallenden Westflanken, die Kernzonen und die steil bis überkippt lagernden, häufig spezialverfalteten Ostflanken der Großsättel des südlichen Arbeitsgebietes repräsentiert werden. Die Flanken zeigen eine zusätzliche regionale Differenzierung der Gefügeausprägung. b_1- und b_2-Achse schließen im südlichen Profil (Mte.Argentario - Mte.Conero) einen Winkel von durchschnittlich 20 - 25° ein, wobei b_1 regelmäßig im Uhrzeigersinn gegenüber b_2 rotiert erscheint. Im nördlichen Profil (Umgebung der Linie Prato-Sillaro) haben die Achsendifferenzen unterschiedlichen Betrag und Drehsinn.
Für den gesamten Nordapennin und einen Teil der südlich anschließenden Abruzzen wurde eine Lineamentkartierung im Maßstab 1 : 500 000 erstellt, zum weitaus überwiegenden Teil auf der Basis von SKYLAB-Aufnahmen. Nur für die nicht von

SKYLAB-Aufnahmen überdeckten Gebiete wurden LANDSAT-Daten herangezogen. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte stereoskopisch im ZEISS-Planimat, einem photogrammetrischen Präzisionsauswertegerät. Sämtliche erkennbaren Lineamente wurden zusätzlich auf Lochkarten erfaßt.
Die Richtungsanalyse der Lineamente ließ drei Lineamentsysteme erkennen: Ein faltenbezogenes Lineamentsystem mit Längs- und Querlineationen (im gesamten kartierten Areal), ein mit unterschiedlichen Beträgen von 15-35° gegenüber dem ersten System verdrehtes Lineamentpaar mit wiederum senkrecht zueinander angeordneten Hauptrichtungen (ebenfalls im gesamten kartierten Areal) und endlich ein drittes System, welches die Richtungen der jungen Bruchtektonik nachzeichnet.

Da die Hauptrichtungen der ersten beiden Lineamentsysteme mit den Gefügeachsen der zwei Kluftsysteme übereinstimmen, ist eine Erstreckung der Kluftsysteme und damit der Gefügekoordinaten a, b und c über den unmittelbaren Traversenbereich hinaus wahrscheinlich.
Als Ursache für die gleichsinnigen Achsendifferenzen im südlichen Arbeitsgebiet wird eine großräumige Scherung des Gebietes vorgeschlagen, das durch die Prato-(Livorno-)Sillaro-Linie im N und durch die Ancona-Anzio-Linie im S begrenzt wird. Diese Scherung begünstigt Rotationen im Kleinbereich, welche zu den beobachteten Achsendifferenzen führen. Die scherende Bewegung ist Ausdruck und Folge eines bedeutenden, sinistralen Versatzes an der Prato-Sillaro-Linie, der von BORTOLOTTI bereits 1966 gefordert wurde. Schleppung der Kluftsystemachsen in der Umgebung der Prato-Sillaro-Linie, im Satellitenbild erkennbare Versatzrichtungen und das Lineamentmuster bestätigen diese Sinistralbewegung. Die gleichen Kriterien lassen eine Fortsetzung der PSL in den Südteil des Mte.Albano hinein vermuten.
An der Ancona-Anzio-Linie ist im Gegensatz zu den Verhältnissen an der PSL kein bedeutender Horizontalversatz festzustellen. Die sinistrale Verschiebung an der PSL wird nach S zu bis zur Ancona-Anzio-Linie auf $\pm$ 0 abgebaut. Diesen Abbau bewirken mehrere, dextral versetzende Störungen im Bereich

des umbrischen Bogens (Nera-Tal, Esino-Tal). Die Sinistral-bewegung an der PSL, die ihrerseits wiederum bedingt ist durch eine NE-Bewegung des ganzen Gebietes südlich der PSL, steht in Zusammenhang mit der Aufschiebung des Cervarola-Sandsteines auf die Marnoso-Arenacea sowie der Serie Umbra auf die Abruzzen an der Linie Ancona-Anzio. Das Achsen-schwenken des Umbrischen Bogens ist zumindestens teil-weise auf den Abbau der sinistralen Bewegung zurückzuführen.

Abstract

Using the methods of terrestrial photogrammetry about 14,000 joint planes were measured along two traverses across the Northern Apennines. Assembling of the joint data on an equal area net and its interpretation show the existence of two different joint-fabric-systems in the region. The two fabric systems are observed extending over the entire length of the both traverses.

The older of the two systems is related to the stratification the c_1-axis being vertical to the bedding planes and the a- and the b-axes lying in the bedding plane. In the second and the younger systems the b-axis runs parallel to the fold axes. The c_2-axis is approximately vertical to the earth's surface, if the bedding is horizontal. The a_2-axis forms right angles with b_2- and c_2-axes corresponding to the rhombic symmetry of the fabric.

It is interpreted that the first system initially originated during diagenesis and further developed during the first main orogenic phase in the Aquitanian. The second system was formed in the beginning of the second main orogenic phase in the Tortonian.

Statistical analysis of the frequency distribution of the different types of joints (ac,bc,hko,hol,okl) led to the recognition of three main fabric types. These three different fabric types correspond to the western fold limbs, respectively the cores and the eastern fold limbs of the large-scale fold structures in Tuscany and Umbria. In the fold limbs, there are minor differences in the fabric in Tuscany and Umbria. In the southern section (Mte.Arbentario - Mte.Conero), the b_1 and b_2-axes form mutually an acute angle of about 25°. The b_1-axis is clockwise rotated in clockwise direction in comparison to the b_2-axis. In the northern section (Prato-Sillaro-Line), the differences of the strike directions of the two b-axes are not uniformly distributed.

A lineament map (scale 1:500 000) was prepared for the entire Northern Apennines and the adjoining area of the Abruzzi Mts..

The lineaments were traced evaluating stereoscopically the multispectral satellite imagery in a photogrammetric precision instrument (ZEISS Planimat D 2).
Three main lineament systems could be derived by the analysis of the lineament directions:

- a first system with two lineament trends running parallel and transverse to the fold axes. The system extends over the entire area mapped.
- a second system formed by a pair of two rectangular trends, exhibiting clockwise rotation in comparison to the main directions of the first system. This system also extends over the entire area mapped.
- a third system is recognizable, which represents the young block fault tectonics of the orogenic backland.

Out of these, the first two lineament systems appear to correspond to the two joint systems mentioned earlier. Thus, assuming a correlation between the joint systems and the lineament systems, it is reasonable to contemplate that the two joint systems extend beyond the area covered by the two traverses through the Apennines.
To explain the uniform differences in the strikes of the b_1- and b_2-axes in Southern Tuscany and Umbria the following mechanism is proposed:
A large scale sinistral movement took place along the Prato-Sillaro-Line (PSL) and led to the torsion od the region bounded by the PSL in the north and the Ancona-Anzio-Line in the south. The torsion led to the clockwise rotation of the $b_2$axes. During the rotation the stress field maintained essentially the same direction (SW-NE). In consequence, the younger b_2-axis strikes at an angle with the b_1-axis.
The sinistral movement on the PSL was postulated in 1966 by BORTOLOTTI. Such a sense of movement is also confirmed by the bending of the b_2-axes in the surroundings of the PSL and by the sense of movement of the faults recognizable on the satellite images and by the lineament pattern of the PSL-region. The same criteria indicate continuation of the PSL southwards in the southern part of the Mte.Albano.

Along the Ancona-Anzio-Line (AAL) an important horizontal movement is not seen on the satellite imagery. The large sinistral movement of the PSL is reduced to approximately null on the AAL. The reduction is caused by several dextral faults in the Umbrian arc (e.g. Nera Valley, Esino Valley). The sinistral movement along the PSL is the expression of the NE-movement of the region south of t e PSL. It is probably closely related to the overt rusting of the Cervarola-unit over die Marnoso-Arenacea ("Falterona-overthrust") and to the overthrusting of the Serie Umbra over the Abruzzi Mts. on the Ancona-Anzio-Line. The bending of the Umbrian arc can be explained by reduction of the sinistral movement along the PSL, at least in part.

The tectonic model proposed here involving clockwise rotation does not contradict the idea of an anticlockwise rotation of Italy, as deduced from paleomagnetic measurements (ALVAREZ & LOWRIE, 1975; CHANNELL & TARLING, 1975). CHANNELL & TARLING postulate that by far the largest part of the rotation had occurred in the Cretaceous. In addition, according to these authors Italy did not rotate as a single unit.

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1	Großtektonisches Bewegungsmodell für den toskanisch_umbrischen Apennin (nach BODECHTEL & NITHACK 1974)	6
Abb. 2	Lage der Geländemeßpunkte	12
Abb. 3	Tektonische Einheiten und Hauptquer- und Längsstrukturen im Nordapennin	17
Abb. 4	Beispiele für verschiedene Aufnahmeentfernungen	19
Abb. 5	Bearbeitete SKYLAB- und LANDSAT-Streifen	24
Abb. 6	Idealwürfel der Bruchdeformation	26
Abb. 7	Kluftdiagramm S. Casciano N	27
Abb. 8	Kluftsystem-b-Achsen Mte.Cetona	3o
Abb. 9	Idealfalte mit Externrotation von b_1-und b_2-System	31
Abb.1o	Rückformungsbeispiele	33
Abb.11	Trennflächenausbildung im südlichen Profil	43
Abb.12	Trennflächenausbildung in der Umgebung der Prato-Sillaro-Linie	45
Abb.13	Vergleich der Trennflächenausbildung in N- und S-Profil	49
Abb.14	Verhältnis ac/bc bzw. ac/hko in der Toskana, Umbrien und in der weiteren Umgebung der Prato-Sillaro-Linie	5o
Abb.15	Kluftdiagramme Lacugnano, Selvena E	53
Abb.16a	Kluftsystemachsen im nördlichen Apennin	57
Abb.16b	Winkeldifferenzen zwischen b_1- und b_2-Achse	58
Abb.17	Vergrößerung des ursprünglichen Differenzenwinkels zwischen b_1 und b_2 durch Dehnung in den Flanken	59
Abb.18	Auslenkung der Kluftsystemachsen im Cervarola-Sandstein	64
Abb.19	Bearbeitete SKYLAB-Aufnahmen des Nordapennins	66
Abb.2o	Apennin-Hauptkamm nördlich vom Abetone-Paß	68
Abb.21	Lineamentstatistik	72
Abb.22	Lineamentverteilung in der Umgebung der Prato-Sillaro-Linie	75
Abb.23	Lineamentgefüge S.Casciano N, Gola della Rossa Bisano-Val d'Idice, Abzweigung Legri	78
Abb.24	Gegenüberstellung von Geländestörungen und Satellitenbildlineationen	81
Abb.25	Bewegungsmodell für den toskanisch-umbrischen Raum	87

Verzeichnis der Tabellen und Anlagen

Tab. 1	Stratigraphie	15
Tab. 2	2 hko und ac/hko materialabhängig	38
Tab. 3	Gefügetypen Süd-Profil	40
Tab. 4	Rangkorrelationskoeffizienten Gefügetypen	4o
Tab. 5	Scherflächenwinkel	47
Tab. 6	Gefügetypen Nord-Profil	48
Tab. 7	Scherflächenwinkel	51
Tab. 8	Kluftsystemachsen	54,55,56

Anhang 1 Kluftdiagramme
Anhang 2 Klufttabellen
Anhang 3 Lineamenthistogramme

Anlage 1 Karte der Satellitenbildlineationen
Anlage 2 Karte der Geländemeßpunkte

Literaturverzeichnis

ABBATE,E.,BORTOLOTTI,V.,PASSERINI,P.,SAGRI, M. (197o) Introduction to the Geology of the Northern Apenines. Sed.Geol.,4, 2o7-249, Amsterdam

ADLER,R.E. (1969 a): Kleintektonische Beobachtungen aus dem Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2oo8,5-53

ADLER,R.E. (1969 b): Instrumentelle Aufnahme und elektronische Auswertung von tektonischen Flächen und Linearen. Geol.Rdsch.,59, 152-162, Stuttgart

ADLER,R.E. (1973): Ein Beitrag zur angewandten Tektonik im Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2385, 135, Opladen

ADLER,R.E., KRAUSSE,A.F. & PILGER,A. (1965): Die Anwendung der Gefügekunde in der Tektonik des Ruhrgebietes. Clausth.Geol.Abh., 1 , 11-22

ADLER,R.E.,BODECHTEL,J. & HAYDN,R. (1972): Automation der geologisch-tektonischen Datenerhebung und -auswertung. BuL,4o, 194-197

ADLER,R.E. & KRONBERG,P. (1975): Beziehungen zwischen Photolineationen auf ERTS-1-Aufnahmen und tektonischen Strukturen im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet, Glückauf Forsch.H.

ALVAREZ,W. & LOWRIE,W. (1974): Paleomagnetismo della Scaglia Rossa Umbra e rotazione della Peninsola Italiana. Boll.Soc.Geol.Ital., 93, 883-891

ANDERSON,E.M. (1951): Dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain., Oliver &Boyd, 2o6, Edinburgh

BALDACCI,F.,ELTER,P.,GIANNINI,E.,GIGLIA,G.,LAZZAROTTO,A.,NARDI,R. & TONGIORGI,M. (1967): Nuove osservazioni sul problema della falda toscana e sulla interpretazione dei flysch arenacei tipi "Macigno" dell'Appennino Settentrionale Mem.Soc.Geol.Ital., 6 (2), 199-244

BARBIER,E. (1964): Studio fotogeologico di una parte dell' Appennino tosco-emiliano. Boll.Soc.Geol.Ital., 83, 1-14

BARBIER,E. & FACIBENI,P. (1967): Sulla struttura dell'Appennino Settentrionale a Nord del Golfo di Spezia. Studio fotogeologico. Mem.Soc.Geol.Ital,6, 475-487

di BERNARDO,G. (1976): Strukturgeologische Untersuchungen im Gebiet von Trequanda (Prov.Siena, Italien). Unveröffentl.Dipl.Arb. Univ.München, 71 S

BOCCALETTI,M. & GUAZZONE,G. (1968): A contribution to the regional study of structural-stratigraphic units by systematic analysis of structural trends. I.Serie Toscana (preliminary paper).Mem.Soc.Geol. Ital., 7,(2), 247-26o

BOCCALETTI,M. & GUAZZONE,G. (197o): La migrazione terziaria dei bacini toscani e la rotazione dell'Appennini Settentrionale in una"zona di torsione" per deriva continentale. Mem.Soc.Geol.Ital., 9,177-195

BOCK,H. (1971): Computer simulation of second order faults. Rock Mech., 3, 225-238

BOCK,H. (1972 a): Zur Mechanik der Kluftentstehung in Sedimentgesteinen.Diss.Univ.Karlsruhe, 116 S.

BOCK, H.(1972 b): Vielfache Bruchstrukturen bei einfachen Beanspruchungen - Rechnerische Untersuchungen mit Hilfe der Finite-Element-Methode. Geol.Rdsch., 61, 824-849

BOCK,H. (1975): Simulation tektonischer Restspannungen in einer Finite-Element-Berechnung. Z.Dt.Geol.Ges.,126, 1o1-119

BODECHTEL,J.(1968): Photogeologisch-tektonische Untersuchungen in der südlichen Toskana und in Umbrien. Bayer. Akad.Wiss.Math.Nat.Kl.Abh.N.F., 136, 1-36

BODECHTEL,J. & SCHERREIKS,R. (1968): The tectonical aerial interpretation of the Lorea Group in the Eastern Lechtaler Alps. ITC Publ.,B 49,3o S,Delft

BODECHTEL,J. & NITHACK,J. (1974): Geologisch-tektonische Auswertung von ERTS-1- und SKYLAB-Aufnahmen von Nord- und Mittelitalien. Geoforum, 20, 11-24

BORTOLOTTI,V. (1966): La tettonica trasversale dell'Appennino. I. La linea Livorno-Sillaro. Boll.Soc.Geol.Ital., 85, 529-540

BRACONNE,S., CAVALIER,M.,DUBESSET,M., GUILLEMOT,J. & GUY,M. (1976): Creating a system for the geological exploitation of satellite images: Automatic mapping and geophysical data comparison. Proc.NASA Earth Res. Surv.Symp., 1B, 905-931

CALAMAI,A.,CATALDI,R.,SQUARCI,P.&TAFFI,L. (1970): Geology, Geophysics and Hydrogeology of the Mte.Amiata hydrothermal fields. Geothermics, Special Issue 1, I,Maps and Comments, Pisa

CARDAMONE,P., CASNEDI,R.,CASSINIS,G., CASSINIS,R., MARCOLONGO,B. & TONELLI,A.M. (1976): Study of regional linears in Central Sicily by satellite imagery. Tectonophysics,33, 81-96, Amsterdam

CHANNELL,J.E.T. & TARLING,D.H. (1975): Paleomagnetism and the rotation of Italy. Earth Planet.Sci.Lett.,25, 177-188

DALLAN-NARDI,L.,ELTER,P. & NARDI,R. (1971): Considerazioni sull' arco dell'Appennino Settentrionale e sulla "Linea" Ancona-Anzio. Boll.Soc.Geol.Ital., 90, 203-211

EGGENBERGER,A.J.,ROWLANDS,D. & RIZZO,P.C. (1976): The utilization of LANDSAT-Imagery in nuclear power plant siting. Proc.NASA Earth Res.Surv.Symp., 1B, 799-832

FREY,W.: (1969): Zur Geologie des Grenzgebietes Alta Romagna/ Casentino (Prov.Forli, Pesaro, Arezzo) SE des Passo dei Mandrioli (Italien). Diss.FU Berlin, 182 S

FUCHS,A. (1944): Untersuchungen am tektonischen Gefüge der Tiroler Alpen II (Kalkalpen, Achensee-Kaisergebirge). N.Jb.Min.Abh.Abt. B,88, 337-373

GELMINI,R. (1965): Studio fotogeologico dell'Appennino Settentrionale tra il Valdarno e la Romagna. Boll. Soc.Geol.Ital., 84, 169-212

GHELARDONI,R. (1965): Osservazioni sulla tettonica trasversale dell'Appennino Settentrionale. Boll.Soc.Geol.Ital. 84, (3), 277-290

GROSCURTH,J. (1971): Zur Geologie der Randgebiete des westlichen Teils des Mugello-Beckens östlich der Prato-Sillaro-"Linie" (N.Apennin, Prov.Florenz). Diss.FU Berlin, 215 S.

GROSCURTH,J. & HEMMER,K. (1973): Die Prato-Sillaro-Linie, eine transversale Störungszone im Nordapennin und ihre Bedeutung als synsedimentäre Faziesgrenze. N.Jb.Geol.Paläon.Abh., 144 (2), 181-205

GUZZETTA,G. & SCARSELLA,F. (1966): Sulla possibile applicazione dello schema tettonico di Moody e Hill (Wrench-Fault-Tectonics) all'Appennino. Rend. Accad.Sc. Fis.Mat., 33, 199-218

HAFNER,W. (1951) : Stress distributions and faulting. Geol.Soc. Amer.Bull., 62, 373-398, New York

HAYDN,R. (1971): Tektonisch-geochemische Untersuchungen in der Greiner Schieferserie (Oberer Zemmgrund, Zillertal/Tirol). Unveröffentl. Dipl.-Arb.Univ.München 75 S.

HEMMER,C. (1971): Zur Geologie des Gebietes zwischen Lago di Suviana undPasso della Futa, Prov.Bologna und Firenze, Italien. Diss.FU Berlin, 234 S.

HEYMANN,H.F. (1968): Zur Geologie der Toskanischen und Emilianischen Serien des Nordapennins im Bereich des oberen Panaro- und oberen Lima-Tales (Prov. Modena,Bologna,Pistoia). Diss. FU Berlin, 180 S.

HILLER,K. (1973): Geologisch-photogrammetrische Untersuchung des Roßköpfe-Gebietes im Oberen Zemmgrund (Zillertal/ Tirol). Unveröffentl.Dipl.-Arb.Univ.München,79 S.

HODGSON,R.A. (1961): Regional study of jointing in Comb Ridge, Navajo Mountain Area, Utah. Am.Assoc.Petr.Geol. Bull., 45, 1-38

HUBBERT,M.K. (1951): Mechanical basis for certain familiar geologic structures. Geol.Soc.Am.Bull., 62, 355-371

ILLIES,H. (1974): Intra-Plattentektonik und der Rheingraben. Oberrh.geol.Abh., 23, 1-24, Karlsruhe

JASKOLLA,F. (1975): Geologische Neuaufnahme des Krottenkopf-Gebietes. Unveröffentl.Dipl.-Arb. Univ.München, 88 S.

KOWALIK,W.S., GOLD,D.P. & KROHN,M.D. (1976): Application of satellite photographic and MSS-data to selected geologic andnatural resource problems in Pennsylvania. Proc.NASA Earth Res.Surv.Symp.,1B, 932-969

LATTMAN,L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. Photogr.Eng.,24, 568-576

LINKWITZ,K. (1963): Terrestrisch-photogrammetrische Kluftmessung. Felsmechanik Ing.-Geol., 1 (2), 152-159

MARSAL,D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. 152 S.,E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart

NAGEL,K.H. (1975): Der Bau der Thiersee- und Karwendelmulde interpretiert mit Hilfe statistischer Verfahren. Geotekt.Forsch., 48, 1-136

NITHACK,J. (1974): Gefügekundliche Untersuchungen an grobklastischen Sedimenten mit Hilfe terrestrisch-photogrammetrischer Methoden. Diss.Univ.München, 1o2 S.

OGNIBEN,L.,PAROTTO,M. & PRATURLON,A. (1975): Structural model of Italy - Maps and explanatory notes. Ric.Sc., 9o, 5o2 S., CNR Rom

PASSERINI,P. (1973): Studies on minor faults - 2.The Mte. Falterona Thrust. Boll.Soc.Geol.Ital., 92, 49-74

RAMSAY,G. (1967): Folding and fracturing of rocks. 568 S., McGraw-Hill, New York

RENTZ,K. (1971): Zur Geologie der Zone zwischen Secchia und dem Apennin-Hauptkamm (Prov.Modena und Reggio Emilia) Diss.FU Berlin, 333 S.

REUTTER,K.J. (1968): Die tektonischen Einheiten des Nordapennins. Ecl.Geol.Helv., 61(1), 183-224

SANDER,B. (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper, Teil I: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. 215 S. Springer Wien - Innsbruck

SESTINI,G. (ed 197o): Development of the Northern Apennines Geosyncline. Sed.Geol., 4 (3,4), 2-3-642

SMOLKA,A. (1974): Strukturgeologische Untersuchungen im Gebiet südlich Trequanda (Prov.Siena). Unveröffentl. Dipl.-Arb. Univ. München, 68 S.

SOFFEL,H. (1974): Paleomagnetism and rock magnetism of the Colli Euganei Volcanites and the rotation of Northern Italy between Eocene and Oligocene. Boll.Geofis. Teor.Appl., 16, 333-354

SPENCER,E.W. (1959): Fracture patterns in the Beartooth Mountains, Montana and Wyoming. Geol.Soc.Am.Bull., 7o, 467-5o8

STRUENSEE,G.von (1967): Zur Stratigraphie und Tektonik des oberen Reno-Tales (Prov.Bologna und Pistoia, Italien). Diss.FU Berlin, 156 S.

WISE,D.U. (1964): Microjointing in basement, Middle Rocky Mountains of Montana and Wyoming. Geol.Soc.Am.Bull., 75, 287-3o6

WUNDERLICH,H.G. (1964): Gebirgsbildung in Alpen-Nordapennin-Orogen. Tectonophysics, 1, 73-84

Anhang 1

Kluftdiagramme

– – – – b_1- (schichtbezogenes) System

——— b_2- (faltungsbezogenes)System

-·-·-·- b_3- (störungsbezogenes)System

S 2 Mti. dell' Uccellina

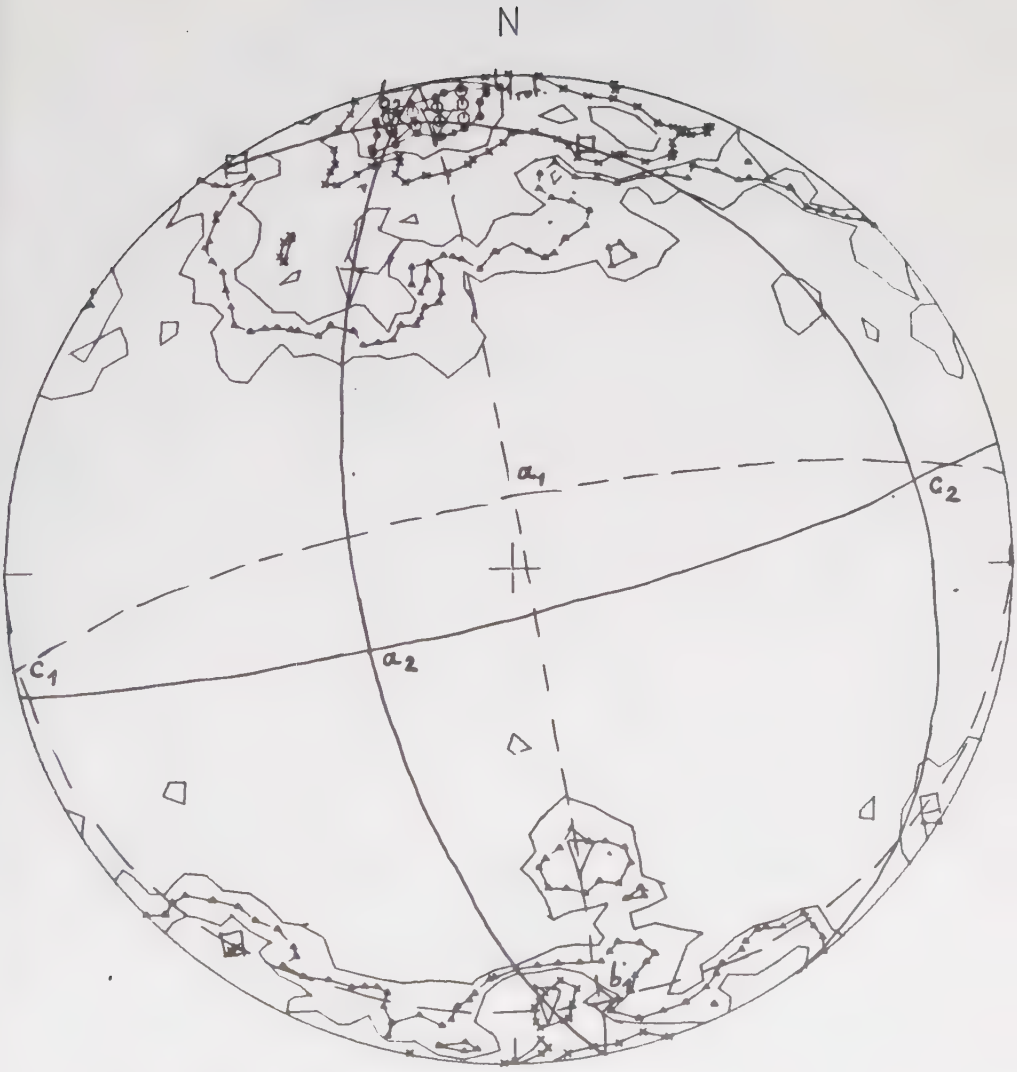
342 Klüfte

S 4 Straße Magliano-Scansano

119 Klüfte

S 5 Scansano

237 Klüfte



S 6 Poggio il Sasso

213 Klüfte

S 10 Selvena E

223 Klüfte

S 12 Mtevitozzo

148 Klüfte

S 14 Straße Trevinano-S.Casciano 104 Klüfte

S 15 S.Casciano N

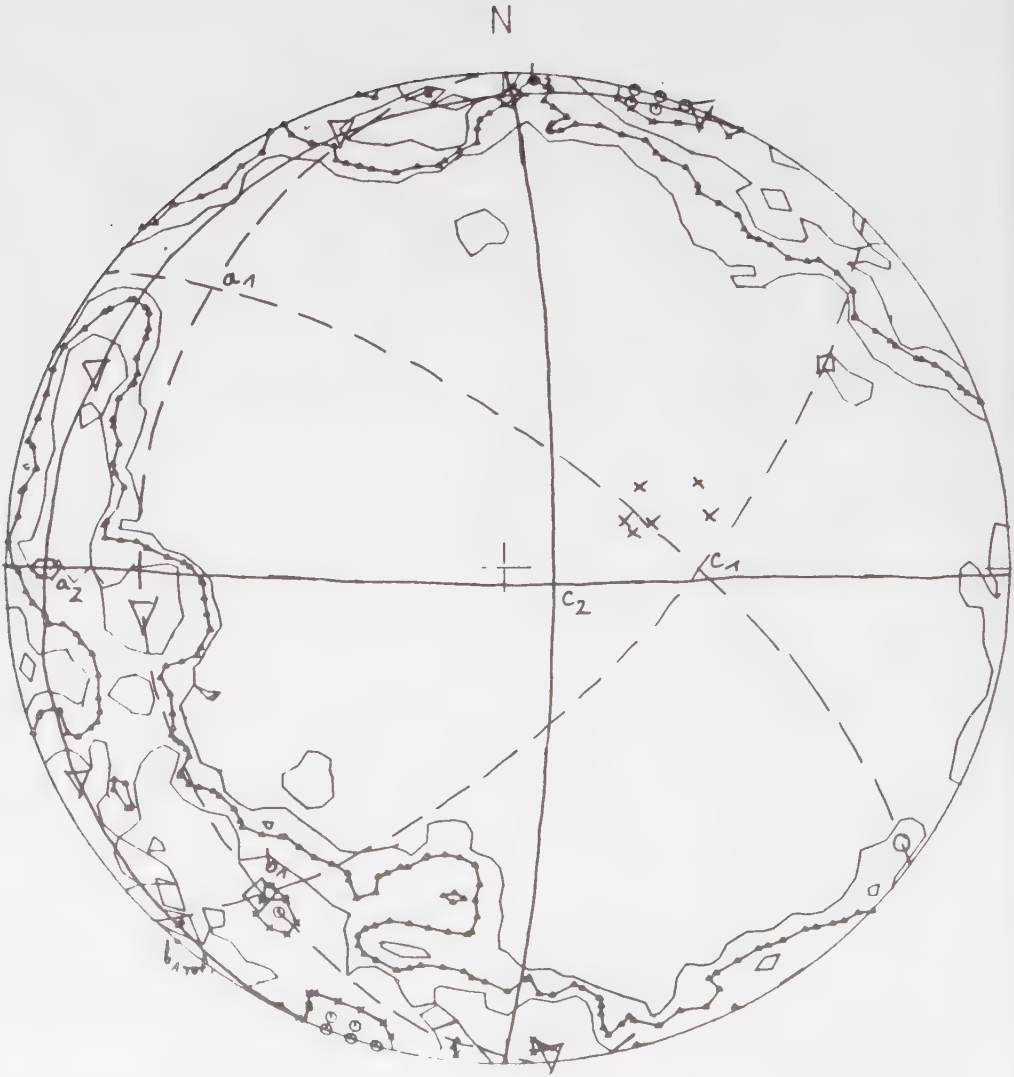
119 Klüfte

S 16,1 Mte. Cetona E

265 Klüfte

S 16,2 Mte.Cetona E

146 Klüfte



S 19 Lacugnano

202 Klüfte

S 20 Città della Domenica

317 Klüfte

S 23 Gualdo Tadino N

219 Klüfte

S 24 Col di Fossato

183 Klüfte

S 25 Mte. Maggio

210 Klüfte

S 30 Straße Collamato-Esanatoglia

240 Klüfte

S 31 Str. Poggio S. Romualdo

258 Klüfte

S 32 Straße Pian d'Elmo-Frontale

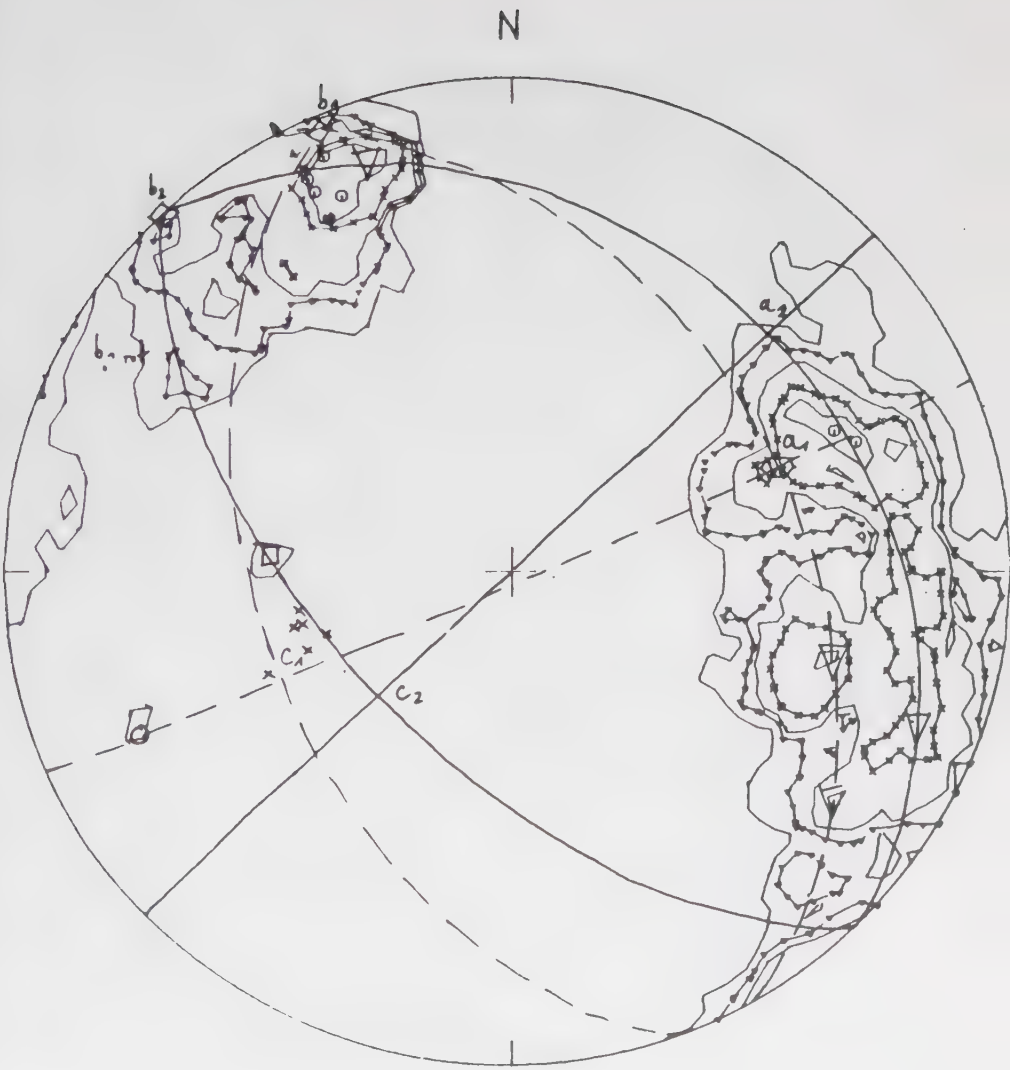
302 Klüfte

S 34 Straße Val Treara-Castelletta 211 Klüfte

S 35 Gola della Rossa

303 Klüfte

S [illegible] Straße Pian d'Elmo-Frontale [illegible]



N 1 Monzuno-Loiano

172 Klüfte

N 3,1 Pietramala

106 Klüfte

N 7 Straße Peglio-Ca'Buraccia

165 Klüfte

N 8 Valle Santerno

245 Klüfte

N 12 Bruscoli

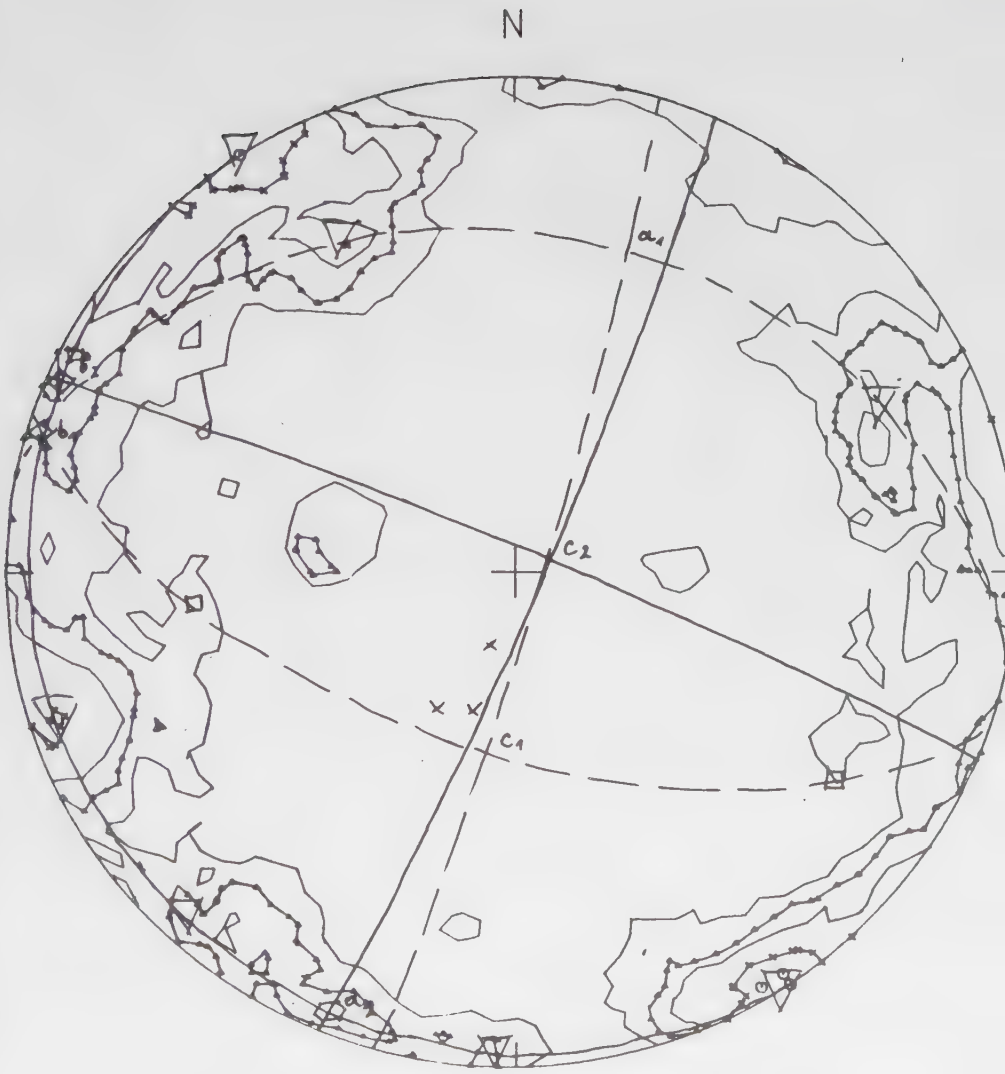
251 Klüfte

N 14 Mte. Tavianella 85 Klüfte

N 17 Straße Montepiano-Barberino

221 Klüfte

N 22/23 La Querce/Filettole 331 Klüfte



N 24/25 Porto di Mezzo/Staz.Carmignano 385 Klüfte

N 29 Momigno

205 Klüfte

N 31 Mtecatini Terme

198 Klüfte

N 33 Monsummano Terme

153 Großklüfte

N 34 Serravalle Pistoiese

187 Klüfte

N 33 Monsummano Terme 268 Klüfte

Anhang 2

Kluft-Tabellen

		b_1-Gefüge					b_2-Gefüge				
		ac	bc	hko	hol	Okl	ac	bc	hko	hol	Okl
1 Monte Argentario	1	-	-	0/5 54a	-	-	5	15	2/2 70a	2/0 60c	7/0 60c
	2	15	1o	0/2 60a	-	0/2 80c	1o	5	0/5 90a	-	0/2 60c
2 Mti.dell' Uccellina	1	-	1	9/5 70b	5/0 50a	-	-	9	-	5/0 90a	2/0 60c
	2	2	12	0/3 60b	5/0 50a	2/0 76c	3	5	0/3 74b	2/0 60c	2/1 60c
	3	1	5	3/7 70b	2/3 72a 3/0 52c	3/0 84c	5	7	0/5 68b	10/0 70a	1/0 80b
3 Str.Alberese		5	-	1/5 48a	-	3/0 56c	3	2	7/0 70a	0/1 76c	-
4 Impostino		3	7	5/1 56a 3/5 60b	3/3 44a	3/0 76c	-	5	0/10 80b	5/1 40a	0/3 80b
Straße Magliano -Scansano	1	5	5	3/1 52a	5/0 40c	-	11	5	3/1 80b	1/5 50c	-
	2	3	-	7/7 76a	-	-	5	4	9/3 80a	1/0 60c	7/0 60c
	3	10	3	5/0 76a	-	0/2 80c	-	3	12/0 58a	2/0 80a	-
5 Scansano	1	9	-	5/2 50a	-	5/1 56c 0/1 60b	4	2	7/1 60a	0/1 48c 0/1 84a	-
	2	5	-	5/5 56a	-	0/5 60c 0/5 48b	3	-	17/0 72a	-	0/3 44c 0/3 76b
	3	1o	-	7/5 50a	1/2 40c	5/0 60c	2	3	9/0 60a	0/2 74a	-
6 Poggio il Sasso	1	1	5	10/20 76a	-	2/0 40b	1o	-	0/3 60a 0/5 50b	-	5/0 72b
	2	5	-	5/7 56a	-	-	5	-	5/3 70a	-	5/0 60c
	3	5	-	5/10 52a	-	-	5	-	5/5 70a	-	1/0 70c
7 Catabbio		4	6	5/5 80a	-	0/3 32c	5	5	7/5 66b	-	2/0 80c
Montebuono		1o	5	7/7 62b	-	-	13	-	0/4 60a	0/3 60c	0/2 54b
9 Str.Sorano-Selvena	1	-	5	7/0 70a	0/2 40c	0/3 52c	1o	-	7/15 84a	-	-
	2	-	-	3/5 90a	-	1/5 68c	5	5	0/7 90a	-	2/6 60c
1o SelvenaE'		1o	1o	5/3 50a	-	-	-	3	2/3 60a	0/1 80a	-
11 Castell'Azzara		2	3	5/5 60a	-	-	5	7	2/3 56a	-	0/3 80c
12 Montevitozzo	1	1	1	0/10 60a	0/5 40a	-	1o	-	3/5 60b	0/2 60c	-
	2	6	4	0/5 66a	0/2 50a	5/0 48c	-	7	5/0 90a	-	0/2 80b

		b_1-Gefüge								b_2-Gefüge							
		ac	bc	hko		hol		Okl		ac	bc	hko		hol		Okl	
12 Ntevitozzo	1	1	13	0/10	60a	0/5	40a	-		1o	-	3/5	60b	0/2	60c	-	
	2	5	5	0/5	60a	0/2	50a	3/0	48c	-	7	5/0	90a	-		0/2	80b
13 Mte.Rufeno		-	1o	0/2	80a	5/0	72c	-		7	7	4/7	80b	-		5/3	40b
14 Str.Trevinano-S.Casciano		5	12	3/1	60b	-		0/3	52b	-	1	3/13	74a	0/3	44c	0/3	52b
15 S.Casciano N		3	-	3/3 3/3	64a 60b	0/3	76c	-		-	-	8/5	56a	1/0 5/0	60c 44a	2/0	64c
16 Mte.Cetona E	1	1o	3	3/1	60a	0/5	68c	0/1	80c	1o	-	5/5	70a	-		3/0	60c
	2	1o	-	5/5	64a	0/2	58c	1/2	40c	-	5	3/3	60a	0/1o	40c	2/0	80b
	3	3	-	1o/1	52b	-		-		2o	7	3/3	56b	0/1	72c	-	
	4	-	1o	5/1o	60b	0/3	68c	3/0	72c	11	7	3/3	60b	0/1	80a	0/2	66b
17 Sarteano	1	7	-	2/0	86a	4/0	60c	0/10 0/7	72b 44c	1	-	3/0	56a	0/2	90a	0/10	52b
	2	-	10	-		4/0	60c	0/2	72b	-	5	0/5 3/7	58a 64b	5/7	60c	-	
18 Tavernelle		-	-	-		-		-		7	-	1o/15	72c	0/1	44c	0/2	62c
S.Arcangelo		5	-	1/5	50a	5/0	84a	0/5	84c	5	5	1/12	60a	3/0	40c	-	
Mugnano		11	-	5/1	80a	-		5/0	70c	5	-	3/5	72a	3/3	58c	-	
19 Lacugnano	1	5	2	3/3 0/5	70a 70b	-		3/0	72c	5	-	2/5	60a	-		0/2	68c
	2	5	-	7/3 3/5	80a 80b	-		5/0	60c	3	7	5/2 0/5	64a 60b	-		-	
2o Citta della Domenica	1	1	-	3/5	70b	-		0/15	80b	3	3	3/1	60a	1/0 1o/o	60a 50c	-	
	2	-	-	5/3	84a	-		-		2	-	1/1 7/2	60b 76a	12/0 0/3	64a 50c	0/1	72b
	3	-	-	-		0/4	80a	3/1	64b	10	23	-		3/o 5/1	40a 60c	-	
21 Conca del Sole		10	10	7/1	60b	0/3	68a	0/3	44c	-	7	3/0	80a	-		2/0	48c

		b_1-Gefüge					b_2-Gefüge				
		ac	bc	hko	hol	0kl	ac	bc	hko	hol	0kl
21 Conca del Sole		10	10	7/1 60b	0/3 68a	0/3 44c	-	7	3/0 90a	-	2/0 48c
22 Gualdo Tad.E		-	3	-	0/11 74a		5	-	5/0 70b	-	-
23 Gualdo Tadino N	1	7	1	3/0 60a 1/0 60b	-	-	-	1	3/3 90a	5/1 60c 0/3 60a	-
	2	3	-	3/5 64a	-	0/3 40c	2	5	1/3 90a	6/3 60c 5/0 60a	-
24 Col di Fossato	1	5	-	3/3 86a	-	1/3 80c	1	2	0/3 74a	-	0/10 60c 0/3 60b
	2	3	3	0/5 60a	-	0/5 72c	3	-	2/3 60a	-	2/10 76c
25 Mte.Faggio	1	-	5	1/2 74b	10/0 90c	-	-	1	14/14 68b	2/0 40c	-
	2	-	10	1/1 60a	5/5 70c	-	4	-	0/15 70a	1/5 60c	-
	3	-	10	1/5 70a	6/3 60c	-	4	3	5/5 70a	3/0 60c	-
26 Mte.Nero		4	2	1/1 80b	-	0/3 70b	-	-	20/5 84b	-	0/3 66b 0/2 40c
27 Mte.Roredano		15	-	1/20 90a =hko$_2$	0/3 40c	-	-	5	15/20 80b	0/2 80c	0/5 52c
28 Campodicroli	1	1	-	0/11 74b	5/1 52a	-	3	2	0/1 90a	0/1 60a	2/3 48c
	2	2	-	0/3 72a	-	0/2 64c	16	-	0/5 80a	-	2/3 48c
29 Colle Pernenello	1	-	-	7/0 90a	0/3 4c 0/2 72a	0/3 40c	7	3	0/4 60a	0/2 80a	0/3 80c
	2	-	4	1/0 80a	5/0 60a	-	2	1	-	0/3 60c 0/1 60a	0/3 80c
30 Straße Collama -to-Esanatoglia	1	-	1	-	7/0 60c	-	9	3	20/5 60a	-	2/3 46c
	2	2	4	5/0 60a	-	-	3	-	5/3 60a	-	0/3 50c
	3	-	-	3/7 60a	0/3 72a	-	2	2	-	-	1/3 90c
	4	2	-	3/1 60a	-	0/5 70c	10	3	1/5 60a	-	3/1 80c
31 Poggio S. Romualdo	1	-	2	5/5 90b 3/4 60a	-	0/3 80b	5	2	3/5 90b	-	2/2 68c
	2	11	10	5/0 90a	2/3 60c	0/1 90b	-	5	5/0 60b	1/4 54a	-
		7	-	0/1 90c	-	5/5 60c	5	3	0/5 70a 3/7 80b	-	3/3 50c

		b_1-Gefüge								b_2-Gefüge							
		ac	bc	hko		hol		Okl		ac	bc	hko		hol		Okl	
32 Straße Pian d'Elmo-Frontale	1	9	1	7/0	90a	0/2	60c	0/1	76b	3	-	1/3	72a	-		3/5	40c
	2	8	5	7/0	96b	0/3	40c	0/3	40c	3	-	3/10	56a	-		1/2	40c
	3	8	9 =hko_2	-		-		0/3	74c	2	-	9/4	68a	-		0/2	54c
33	4	5	3	5/3	40a	0/3	40c	0/3	70c	3	-	3/4	60a	-		3/0	90c
	5	5	-	12/5	52a	-		-		3	-	7/3	52a	-		1/7	80c
34 Straße Val Treara Castelletta	1	7	-	0/3	60a	0/3	60a	0/5	60b	5	-	7/2	72a	-		2/5	68c
	2	-	1	0/2 0/5	70a 60b	0/3	48c	2/0	60b	15	-	0/7	68a	0/2	60a	0/1	60c
35 Gola della Rossa	1	2	2	1/1	60b	0/3	76c	-		-	5	2/5	50a	1/0	40a	0/3	60b
	2	3	2	0/7 0/4	56b 60a	0/3 0/2	64c 72a	-		-	5	-		3/1 10/2	60a 56c	-	
36 Mte.Conero	1	-	3	5/5	64a	-		3/0 4/0	92b 48c	7	-	3/4	80a	-		4/0	80c
	2	-	3	2/5	64a	-		2/0 5/0	40c 68c	3	-	1/5	80a	-		1/0	68c

			b_1-Gefüge								b_2-Gefüge							
			ac	bc	hko		hol		Okl		ac	bc	hko		hol		Okl	
1	Straße Monzuno-Loiano	1	3	10	0/12	60b	3/0	48c	-		7	7	0/9	80a	1/0	80c	-	
		2	2	3	0/3	90b	-		3/0	60c	1	1	12/5 0/5	52a 46b	-		3/0	60c
2	Trasasso-Zaccanesca	1	3	1	3/2	60a	-		1/5	70c	2	-	9/7	70a	-		-	
		2	12	5	5/3	80a	-		2/2	70b	3	1	-		-		5/9	70b
3	Pietramala	1	3	5	4/3	84a	0/2	60c	-		5	10	5/1	90a	-		-	
		2	-	10	3/3 2/0	56b 84a	1/0	60c	-		4	-	10/5	80a	-		-	
4	Sasso di Castro	1	5	2	5/10	52a	-		-		5	7	7/5	60a	-		-	
		2	7	2	11/5	70a	-		-		7	5	11/10	44a	-		-	
5		3	3	-	10/0	64b	0/7	80a	0/2	80c	5	-	12/7	76a	-		-	
		4	-	-	15/0	70b	-		0/3	70c	5	-	15/3	80a	-		-	
6	Bisano (Val d'Idice)	1	5	-	1/2	54a	-		5/0	80b	5	2	0/3	80a	0/5	60c	1/1	60c
		2	5	-	7/3	80a	-		3/0	80b	7	-	9/3 3/0	60a 70b	1/0	60c	1/3	60c
7	Str. Peglio-Ca'Buraccia	1	15	-	3/5	50a	-		3/3	60c	5	1	15/0	70a	-		1/0	60c
		2	5	1	0/6	50a	0/2	60a	2/0	60c	10	-	5/3	64a	0/7	56a	-	
8	Valle Santerno	1	9	-	5/5	84a	-		3/6	56c	10	-	11/0	70a	-		3/0	56c
		2	7	-	10/5	80a	-		-		5	5	10/0	60a	-		-	
9	Passo Giogo		-	1	3/5	76b	0/1	60c	10/0	60c	3	-	24/10	68a	0/3	56c	1/3	52c
1o	Barco-Rifredo	1	1	5	5/3	60b	0/1	80c	3/0	60c	5	1	2/10	52a	-		0/1	60c
		2	-	5	5/3	60b	0/1	50c	-		5	1	2/7	64a	-		7/0	56c
		3	-	14	2/5	50b	0/2	60c	0/2	60b	1	7	3/2	66a	-		0/1	70c

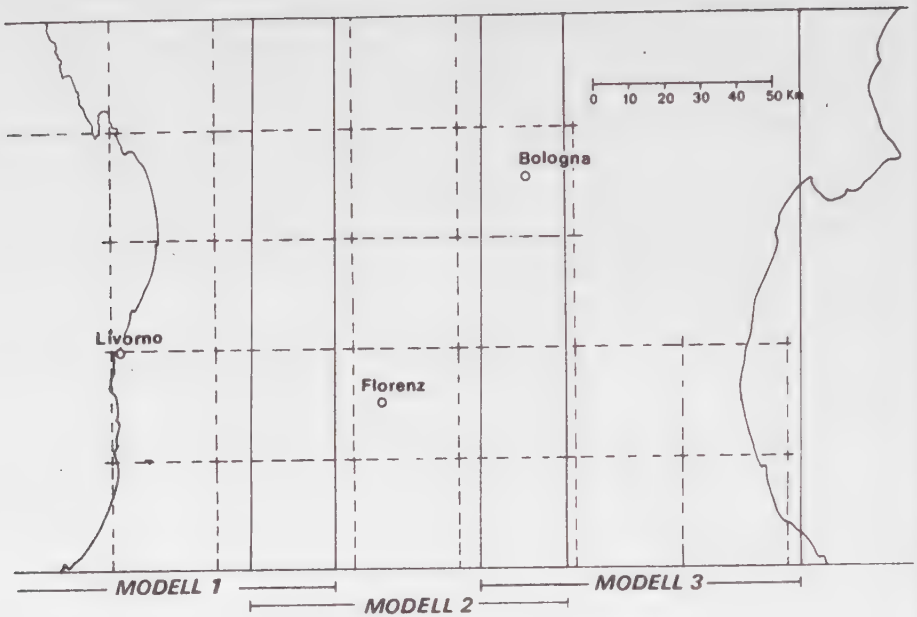
		b_1-Gefüge								b_2-Gefüge							
		ac	bc	hko		hol		Okl		ac	bc	hko		hol		Okl	
11 Poggio Stancalasino	1	-	-	5/1	80b	1/3 0/2	60c 70c	-		-	5	7/10	84b	0/9 3/0	90c 60c	-	
	2	-	1	5/5	70b	2/2	64a	1/0	54c	-	7	5/0	68b	-		2/2	48c
	3	-	5	3/3	60b	5/0	50c	1/0	50c	-	12	1/1	70b	5/3 5/5	60a 70c	-	
	4	-	5	1/5	70b	3/3 3/0	60c 60a	-		-	5	3/1 1/1	50b 80b	0/10 0/3	52a 70c	-	
12 Bruscoli	1	-	2	0/7	68a	9/0	40c	-		2	2	12/5	60a	0/2	84a	-	
	2	-	12	5/9	70a	2/0	40c	-		-	9	7/5	70a	0/3	40c	-	
	3	3	9	1/2	60a	0/1 1/0	40a 40c	-		-	12	5/5	66a	1/3	70c	-	
13 Castiglione Pep.-Montepiano		-	3	4/2	80b	3/5	80c	-		-	-	3/8	86a	0/5	80a	-	
14 Mte.Tavianella		-	6	12/2	70b	1/0	70c	-		-	1	3/2	80b	7/9	90a	-	
15 S.Giacomo		-	-	1/1	60b	0/9 9/12	80a 60c	-		-	2	3/3	60b	0/3 0/3	80a 70c	-	
16 Montepiano		5	-	12/15	78a	-		-		2	-	12/12	76a	-		-	
17 Montepiano-Vernio		-	10	0/10	60b	0/7	70c	3/0	80c	13	13	0/2	60b	5/0	80a	-	
18 Montepiano-Barberino	1	1	1	10/5	60a	0/8	84a	0/4 0/2	60b 60c	1	-	10/0	80b	0/7	84a	0/3 0/1	80c 60c
	2	-	2	0/1 0/3	76a 60b	3/6	70a	0/1 0/3	56c 90c	2	3	1/2	70a	0/1 1/3	50c 80a	-	
19 Abzweigung Migliana		3	5	3/0	56b	0/1	80a	1/3	60c	5	3	9/0	84b	0/3 3/0	50a 84a	-	
2o La Selva		3	-	0/5	64a	-		0/5	84c	7	-	2/5	40a	-		1/3	70c

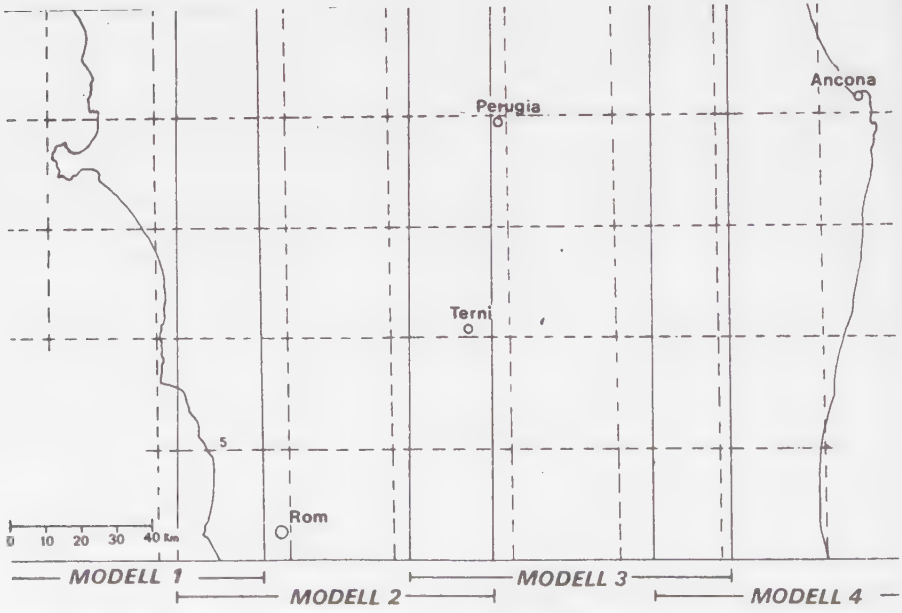
		b_1-Gefüge						b_2-Gefüge					
		ac	bc	hko	hol	Okl		ac	bc	hko	hol	Okl	
21 Abzweigung n. Legri	1	2	3	3/1 60b	-	0/5 60c 0/3 80b		3	1	7/2 90a	-	1/10 50c	
	2	2	-	1/2 60a 5/7 60b	-	0/7 70c		7	-	1/3 60a 0/1 80b	-	4/3 70c	
	3	2	-	5/2 70a	-	0/2 70c		5	-	1/3 60a	3/10 50c	0/3 80b	
22 La Querce		-	1	10/0 60b	15/0 80c	-		-	5	5/0 60b	-	0/15 50c	
23 Filettole	1	2	6	8/3 56b	-	0/3 80c		3	3	3/0 60a 7/0 64b	-	0/3 60c 4/0 64b	
	2	-	3	10/3 60b	0/3 68a 1/2 80c	-		2	3	3/0 60a 3/3 76b	2/5 70c	-	
24 Porto di Mezzo	1	3	3	0/5 76b 0/3 56b	6/0 72a 4/3 70c	-		3	5	15/5 72a	3/1 60c	-	
	2	4	-	1/5 60a	-	3/1 70c		2	5	9/11 80a	-	-	
	3	1	-	10/2 64b	2/0 70c	3/0 90c		-	-	7/7 80a	1/0 60c	0/3 50b 3/0 50c	
25 Staz.Carmignano		3	-	5/5 90a	-	2/1 50c		5	-	3/15 64a	-	0/2 60c	
26 S. Miniatello		5	5	0/2 80b	1/0 52c	-		7	-	5/14 50a 1/5 80b	-	-	
27 Montevettolini		2	-	15/5 90a	-	1/0 64c		7	-	5/2 70a	-	0/3 50c	
28 Celle	1	1	-	10/11 70a	-	0/3 80b 0/5 56c		-	10	0/3 64a	2/0 80a 3/7 70c	-	
	2	2	-	15/10 60a	-	0/2 90b 1/3 56c		3	10	0/2 50a	2/0 80a 5/2 70c		
29 Momigno	1	3	-	28/5 80a	10/0 60a 2/3 70c	-		-	10	5/5 68a	10/5 44c	-	
	2	3	-	2/9 80b	2/0 70c	7/0 50c		-	7	5/1 70a	7/0 72c	0/1 56c	
30 Val di Nievole		-	10	5/0 60b	7/0 60c	-		-	5	5/5 64b	5/0 48c	2/3 60a	

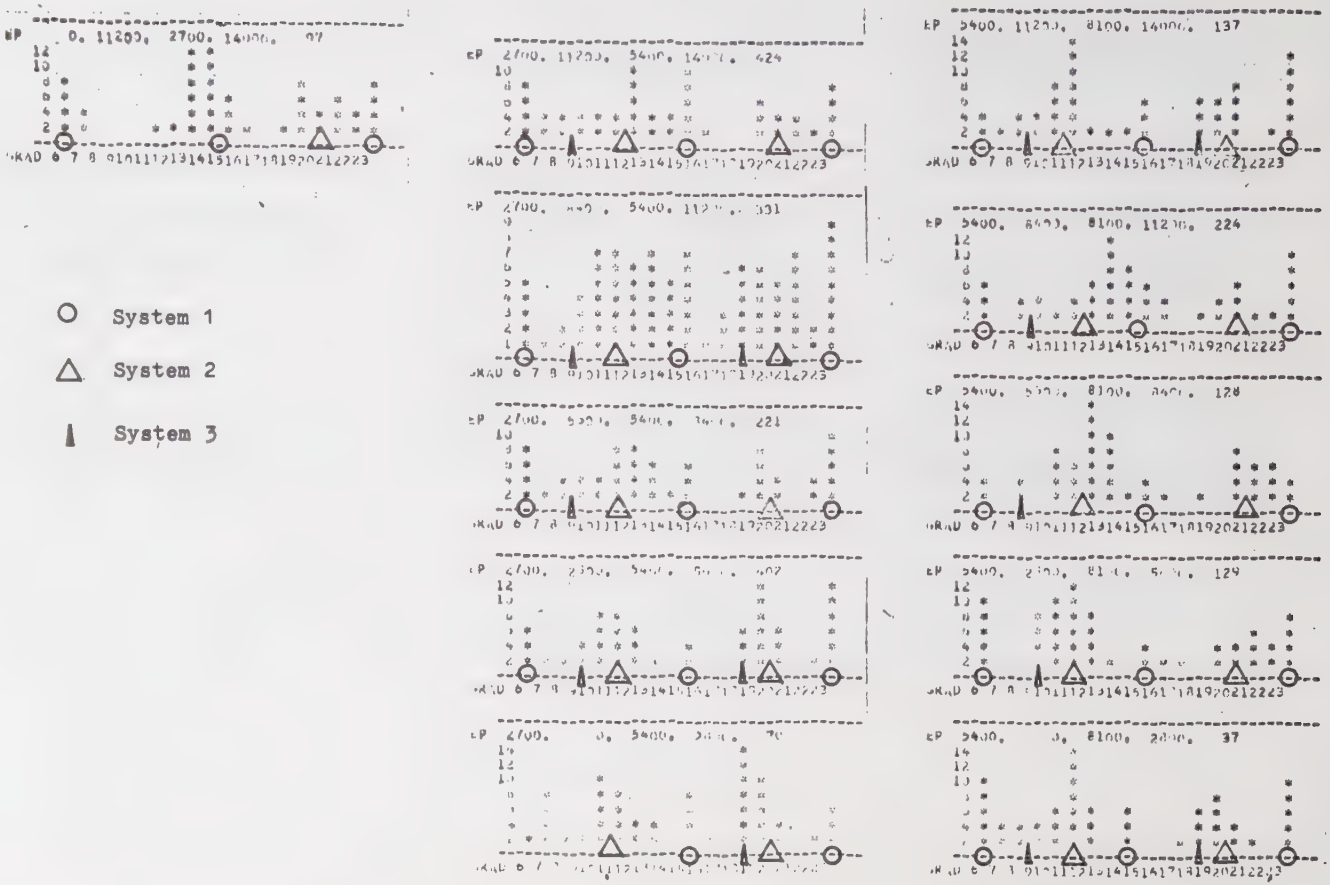
			b_1-Gefüge								b_2-Gefüge							
			ac	bc	hko		hol		Okl		ac	bc	hko		hol		Okl	
31	Montecatini	1	3	7	5/4	72b	3/0	52a	-		-	-	7/7	66b	5/2	70c	-	
		2	-	4	3/5	76b	0/2 3/0	80a 56c	-		-	7	7/5	80b	2/0	90c	0/3	80b
32	Monsummano E.		7	-	5/3	50a	-		3/0	70c	5	-	12/5	50a	-		13/5	90c
33	Monsummano Terme	1	1	-	0/1	70a	0/3	60a	1/2	80c	5	8	-		3/0	50c	-	
		2	7	-	-		1/3	76a	0/1	50c	3	7	1/5	68a	4/0	60c	2/1	60c
34	Serravalle (PT)	1	-	5	10/5	66b	0/2	40a	2/0	50c	3	3	0/5	80b	-		1/0	80c
		2	-	-	4/0	80b	-		-		-	10	5/3	80a	1/3	50a	-	

Anhang 3

Lineament-Histogramme



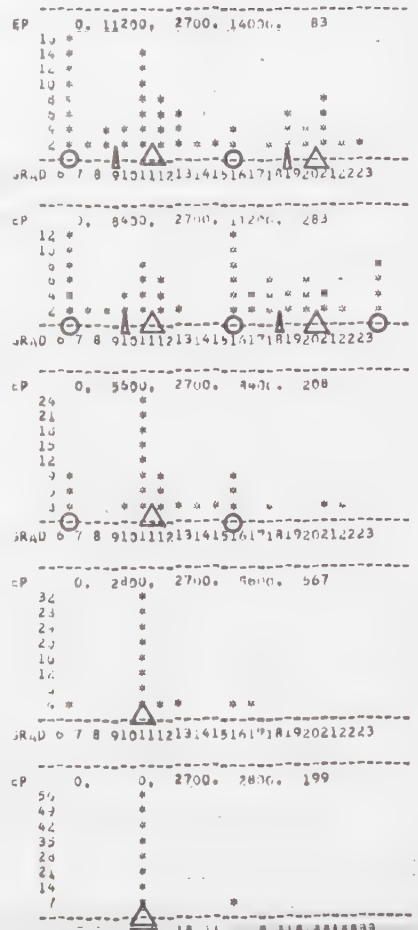


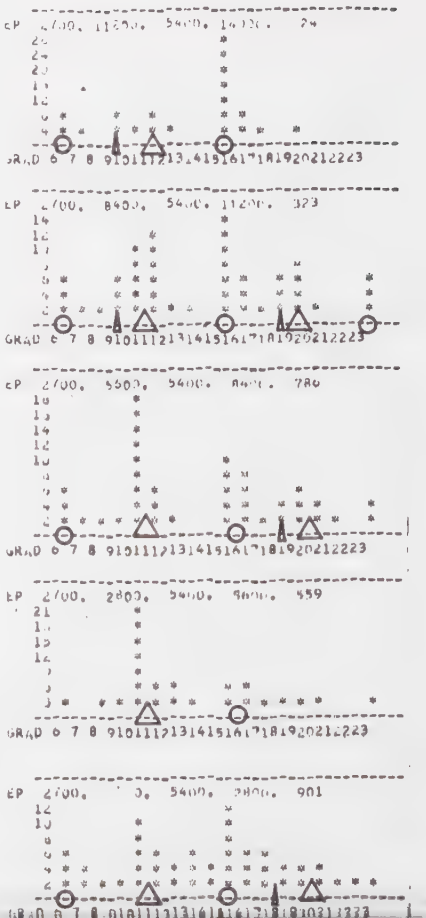
Lageplan der Stereoauswertemodelle und des Auszählrasters

○ System 1

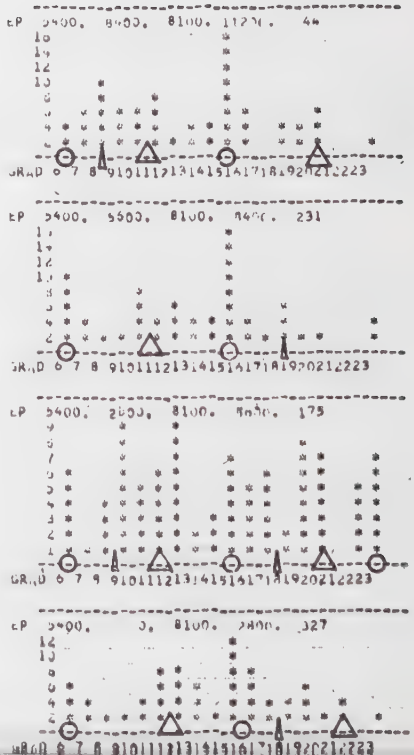
△ System 2

| System 3

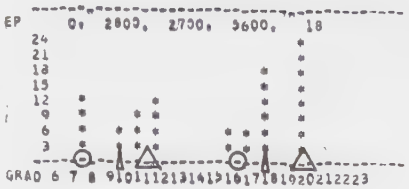
Modell N

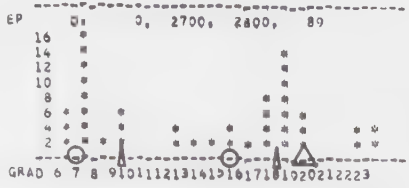

EP 0. 11200. 2700. 14000. 83
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 0. 8400. 2700. 11200. 283
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 0. 5600. 2700. 8400. 208
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 0. 2800. 2700. 5600. 567
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 0. 0. 2700. 2800. 199

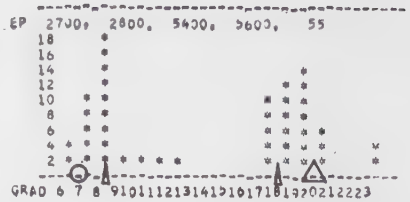

EP 2700. 11200. 5400. 14000. 24
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 2700. 8400. 5400. 11200. 323
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 2700. 5600. 5400. 8400. 780
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 2700. 2800. 5400. 5600. 559
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 2700. 0. 5400. 2800. 901


EP 5400. 8400. 8100. 11200. 44
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 5400. 5600. 8100. 8400. 231
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3
EP 5400. 2800. 8100. 5600. 175
GRAD 6 7 9 9101112131415161718192021222 3
EP 5400. 0. 8100. 2800. 327

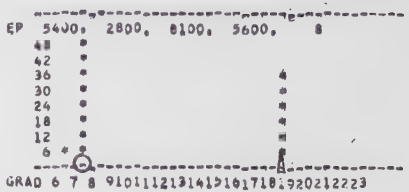
Modell Nr 2

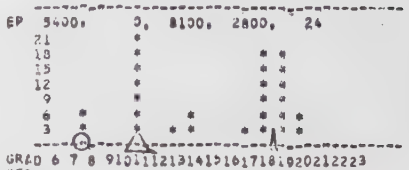






1933=990=011=0=01=00 SEIDERE GELIN

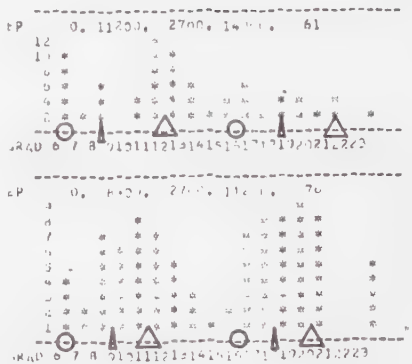


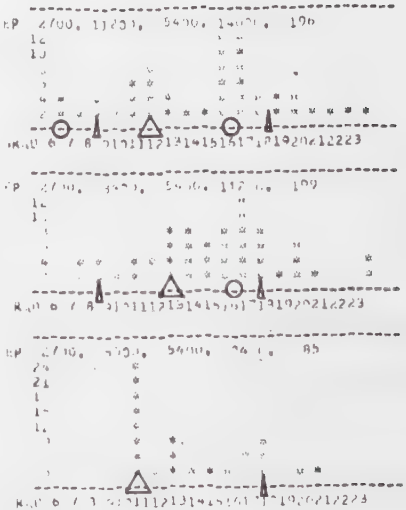


STOP

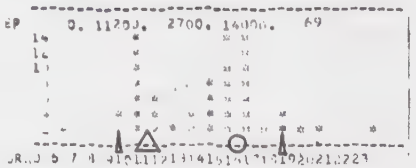
ENDE STOMP 41,65
=STARTE, DUMP= F=NEST,DATEI=2-TEIL7,DATEN=/FE

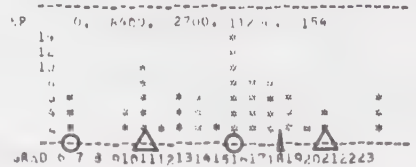
Modell N 3

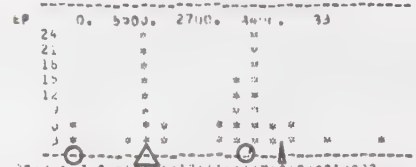


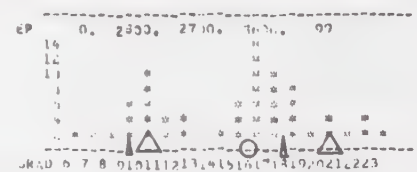


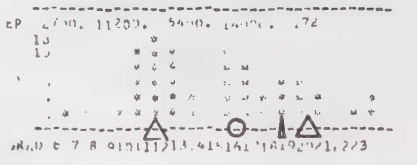
Modell S

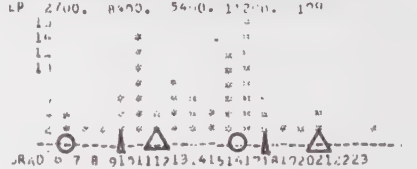

EP 0. 11250. 2700. 14000. 69

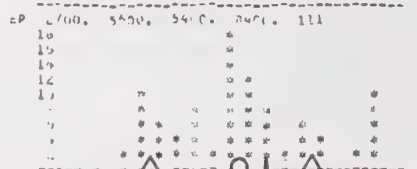

EP 0. 8400. 2700. 11200. 156

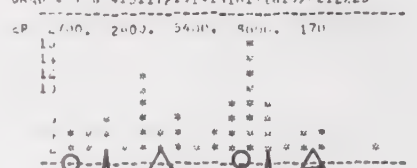

EP 0. 5600. 2700. 8400. 33

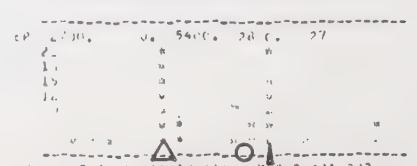

EP 0. 2800. 2700. 5600. 93

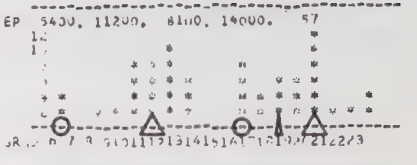

EP 2700. 11200. 5400. 14000. 172

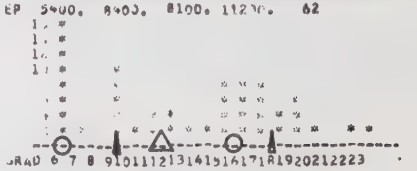

EP 2700. 8400. 5400. 11200. 109

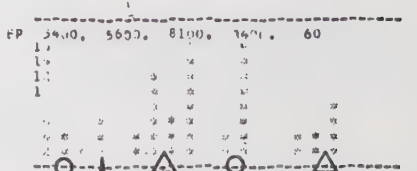

EP 2700. 5600. 5400. 8400. 111

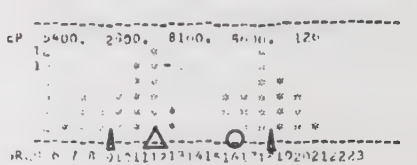

EP 2700. 2800. 5400. 8400. 170

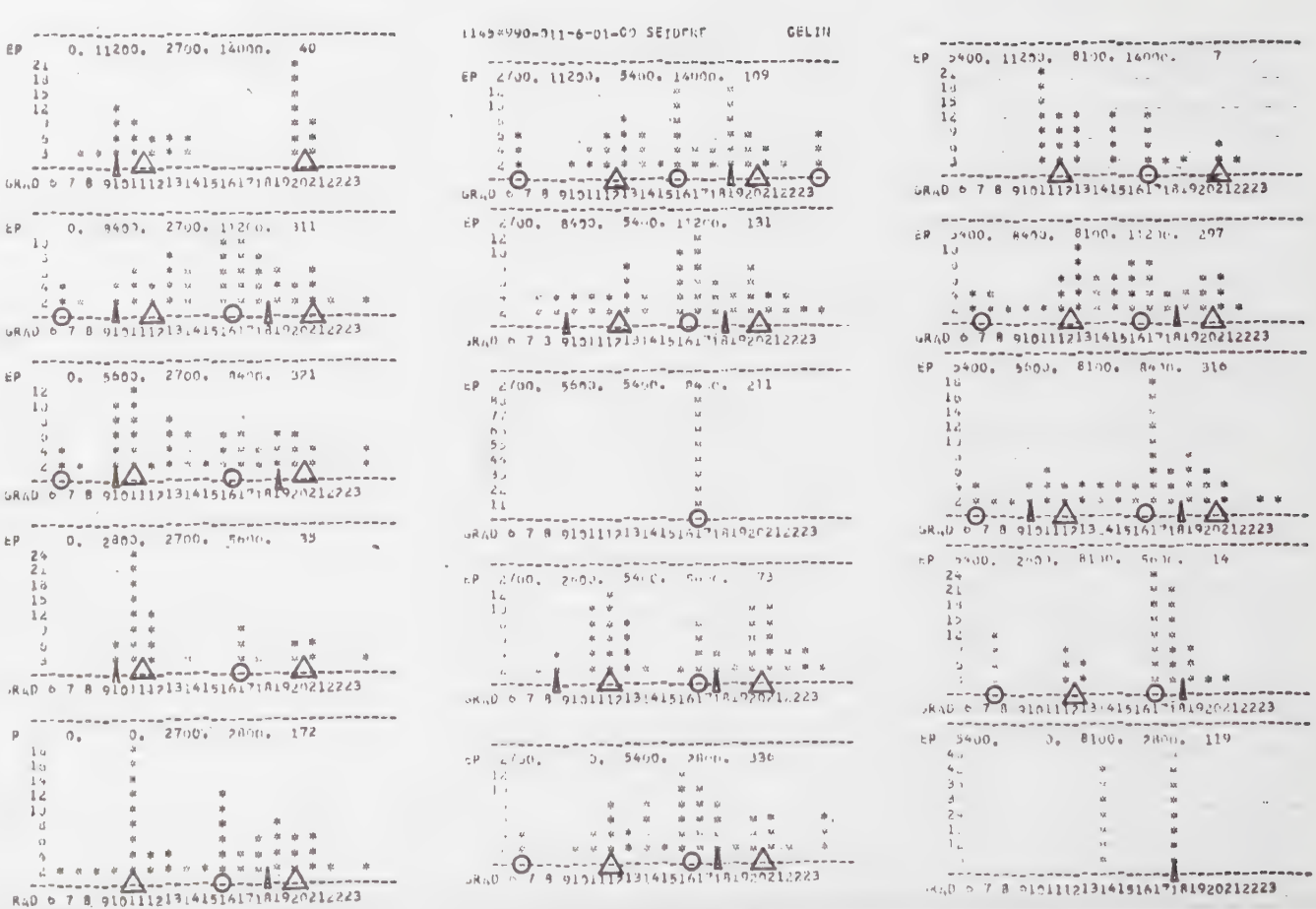

EP 2700. 0. 5400. 2800. 27


EP 5400. 11200. 8100. 14000. 57

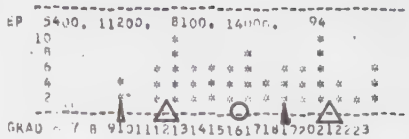

EP 5400. 8400. 8100. 11200. 62

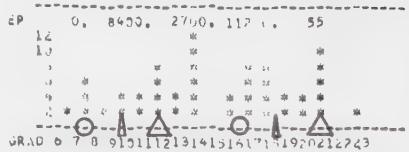

EP 5400. 5600. 8100. 8400. 60

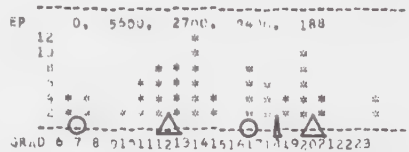

EP 5400. 2800. 8100. 8400. 126

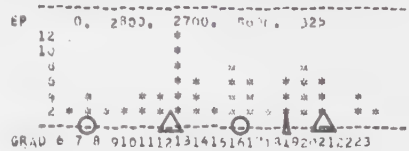

1145=990=011-6-01=00 SEIDER GELIN
EP 0. 11200. 2700. 14000. 40
EP 0. 8400. 2700. 11200. 311
EP 0. 5600. 2700. 8400. 321
EP 0. 2800. 2700. 5600. 35
P 0. 0. 2700. 2800. 172
EP 2700. 11200. 5400. 14000. 109
EP 2700. 8400. 5400. 11200. 131
EP 2700. 5600. 5400. 8400. 211
EP 2700. 2800. 5400. 5600. 73
EP 2700. 0. 5400. 2800. 336
EP 5400. 11200. 8100. 14000. 7
EP 5400. 8400. 8100. 11200. 297
EP 5400. 5600. 8100. 8400. 316
EP 5400. 2800. 8100. 5600. 14
EP 5400. 0. 8100. 2800. 119
GRAD 6 7 8 9101112131415161718192021222 3

Modell S 3

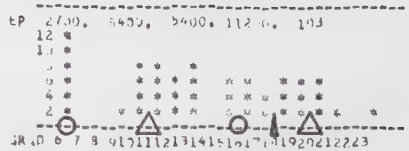

EP 5400. 11200. 8100. 14000. 94
GRAD

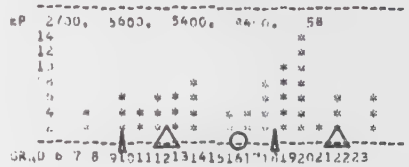

EP 0. 8400. 2700. 11200. 55
GRAD


EP 0. 5600. 2700. 8400. 188
GRAD


EP 0. 2800. 2700. 5600. 325
GRAD

EP 0. 0. 2700. 2800. 199
GRAD


EP 2700. 8400. 5400. 11200. 103
GRAD


EP 2700. 5600. 5400. 8400. 58
GRAD

KARTE DER SATELLITEN - LINEATIONEN DES NORDAPENNINS

0 ——— 50 km

——— GROSSLINEATIONEN

═══ LINEATIONEN MIT HORIZONT. BEWEGUNGSKOMPONENTE

┅┅┅ LINEATIONEN MIT VERTIKAL. BEWEGUNGSKOMPONENTE

+++ FALTENACHSEN ALLGEMEIN

+-+-+ SÄTTEL

+-+-+ MULDEN

N

PARMA
BOLOGNA
FORLI
LA SPEZIA
PISTOIA
LUCCA
FLORENZ
PESARO
ANCONA
LIVORNO
SIENA
PERUGIA
ELBA
GROSSETO
BASTIA
KORSIKA
TERNI
VITERBO
L'AQUILA
ROM

A. SMOLKA 1976

Lebenslauf

03.07.1950	geb. in Weßling/Obb.
	Eltern: Dr. Georg Smolka, Hochschulprofessor em.
	Elisabeth Smolka, geb. Jenner
1956-60	Besuch der Volksschule Weßling
1960-69	Besuch des Ludwigsgymnasiums in München
Juni 1969	Abitur am Ludwigsgymnasium
Okt.1969	Beginn des Studiums der Geologie an der Universität München
Juli 1974	Diplom-Hauptprüfung
seit 01.09. 1974	wiss. Mitarbeiter an der Abteilung Photogeologie und Fernerkundung des Instituts für allgemeine und angewandte Geologie der Universität München